



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ODVÍČKOVACÍ VANIČKY

PRODUCTION OF UNCAPPING TRAY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Čudová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Bc. Monika Čudová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba odvíčkovací vaničky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu vaničky s tvarovaným dnem. Součást je obdélníkového tvaru s přírubou a otvorem z oceli 1.4301 (17 240).

Cíle diplomové práce:

Analýza současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti

Aktuální literární studie pro zvolenou technologii

Návrh výroby bude doložen technologickými a kontrolními výpočty

Návrh sestavy nástroje, zhodnocení a vlastní závěry

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

BAČA, Jozef, BÍLIK, Jozef a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia, Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. ISBN 978-80-227-3242-0.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 4. vyd. Brno: CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

TIŠŇOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-0221-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ČUDOVÁ Monika: Výroba odvíčkovací vaničky.

Práce předkládá návrh technologie výroby výtažku – vaničky z nerezového plechu jakosti 17 240. Na základě literární studie problematiky hlubokého tažení a výpočtů bylo navrženo tažení v nástroji s přidržovačem. Tažidlo využívá normalizovaných komponent a je řešeno formou stojánku upnutého na hydraulickém lisu CYS 320, s nominální tažnou silou 3200 kN. Tažník a tažnice jsou vyrobeny z vysoce legované oceli jakosti 19 573 tepelně zpracované podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Ocel 17 240, tváření, tažení, nerotační součást, hydraulický lis

ABSTRACT

ČUDOVÁ Monika: Production of uncapping tray.

The project elaborated design of technology production of the extract - tray made of stainless steel 17 240. Based on literary study of deep drawing together with calculations, was designed drawing in instrument with holder. The drawing instrument make use of standardised components and it is solving forms to make up stand fitting to hydraulic press CYS 320, with nominal tensile force 3200 kN. Drawing punch and drawing die are produced from high alloyed steel 19 573 heat-worked according to drawing documentation.

Keywords: Steel 17 240, forming, deep drawing, non-rotational part, hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČUDOVÁ, Monika. *Výroba odvíčkovací vaničky*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 63s, 4 výkresy, 6 příloh, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Výroba odvíčkovací vaničky** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Monika Čudová

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji rodině za trpělivost při psaní diplomové práce a podporu po celou dobu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	10
2 TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ.....	12
2.1 Principy tažení	13
2.2 Tažení rotačních výtažků	14
2.2.1 Velikost přístříhu.....	14
2.2.2 Počet tažných operací a stanovení součinitele tažení.....	14
2.2.3 Tažná mezera	16
2.2.4 Tažná rychlost a určení tažné síly.....	16
2.2.5 Použití přidržovače.....	18
2.3 Tažení nerotačních výtažků.....	19
2.3.1 Určení tvaru a velikosti polotovaru přístříhu	19
2.3.2 Určení počtu tažných operací.....	23
2.3.3 Velikost tažné síly.....	23
2.3.4 Tažná vůle.....	24
2.3.5 Tažný poloměr	24
2.4 Tažné nástroje	25
2.4.1 Tažidla pro první tahy.....	25
2.4.2 Tažidla pro druhé a další tahy	25
2.4.3 Konstrukce tažníků.....	26
2.4.4 Konstrukce tažnic.....	27
2.4.5 Brzdící žebra	27
2.4.6 Přidržovače	28
2.4.7 Materiály tažných nástrojů.....	28
2.4.8 Konstrukce tažidel pro nerotační výtažky	28
2.5 Mazání při tažení	29
2.6 Ostatní technologické způsoby tažení	30
2.7 Lisy pro hluboké tažení	35
3 NÁVRH VLASTNÍHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	37
3.1 Materiál výtažku	37

3.2 Výpočet velikosti a tvaru polotovaru	38
3.3 Nástřihový plán a zhotovení polotovaru	40
3.4 Síly v procesu tažení a technologické výpočty tažení	42
3.5 Simulace procesu tváření	43
3.5 Technologický postup výroby	46
3.6 Volba vhodného tvářecího stroje	47
4 NÁVRH SESTAVY TAŽNÉHO NÁSTROJE.....	48
4.1 Konstrukční řešení nástroje.....	48
4.2 Volba materiálu nástroje.....	50
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	51
5.1 Přímé náklady	51
5.2 Nepřímé náklady	53
5.3 Variabilní náklady	55
5.4 Fixní náklady	55
5.5 Celkové náklady	55
5.6 Cena jednoho výrobku	56
ZÁVĚRY	57
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	60
SEZNAM PŘÍLOH	63

ÚVOD

Časově nejnáročnější částí procesu získávání medu ze zavíčkovaných pláství je odstraňování voskových víček uzavírajících plné buňky medu. Tato víčka se strhávají speciálními vidličkami, kdy je plástev umístěna v odvíčkovací vaničce. Strhávání víček probíhá z obou stran plástve a vytékající med je zachytáván právě v této vaničce, proto medaři všelijaké po domácku vyrobené vaničky vypokládají, aby došlo k stečení medu do jednoho místa. Protože je med považován za potravinu, jsou kladeny vyšší požadavky na materiál vaničky. Její rozměry musí odpovídat standardním rozměrům pláství a velikost vyhovovat potřebám včelaře a množství včelstev, které obhospodařuje. Pro průmyslové použití, kdy je potřeba odvíčkovávat stovky až tisíce včelích pláství, se využívají průmyslové zařízení, kdy mechanismus posouvá jednotlivé plástve nad velkou vanou a přes plástve se posouvá nažhavený drát nebo řetěz, který rozruší víčka na jednotlivých buňkách.

V dnešní době je rozvoj strojírenské výroby na takové úrovni, že lze vyrábět celou řadu dílců různými technologiemi s požadavky nejen na kvalitu, ale též na produktivitu práce za co nejnížší výrobní náklady. Jedna z technologií je tváření, které patří mezi nejhospodárnější výrobní procesy, neboť při tváření vzniká minimum odpadu. Předností je i především úspora vstupního materiálu a lze i vyrobit součást přímo na hotovo. Výroba součásti bude provedena na základě využití technologie hlubokého tažení. Výtažek bude obdélníkového tvaru.

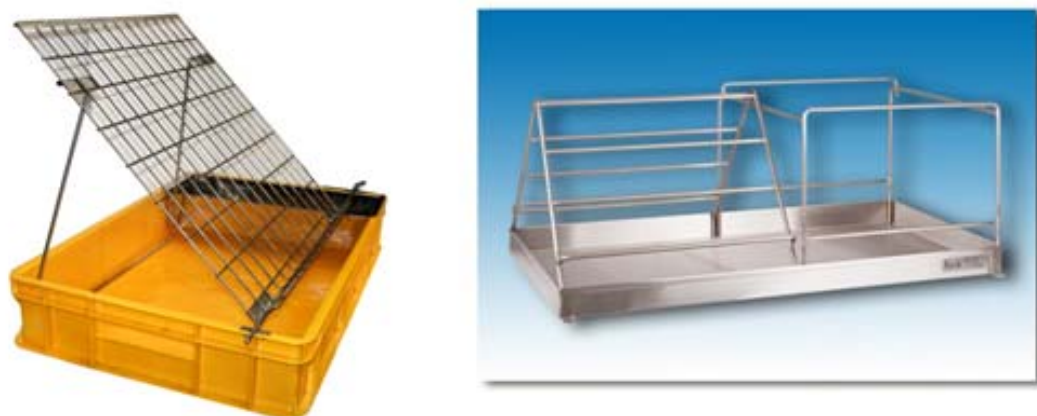
Součástí diplomové práce je analýza současného stavu, návrh technologického postupu výroby řešené součásti včetně zvážení počtu tažných operací, stanovení velikosti tažné síly, tažné vůle či poloměru i použití maziv. V rámci řešení je nutné navrhnout sestavu nástroje a zhodnotit technické a ekonomické aspekty výroby.



Obr. 1 Model řešené součásti

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Požadavky na odvíčkovací vaničku vyplývají z jejího použití, kdy dochází ke kontaktu potravin – medu a materiálu vaničky. Materiál tedy musí být snadno omyvatelný s povrchovou úpravou neuvolňující nežádoucí látky. Materiály a tvary odvíčkovacích vaniček se odvíjí také od počtu včelstev, která včelař vlastní. U malovčelařů, kterých je na každé vesnici několik a vlastní několik včelstev pro vlastní potřebu a několik blízkých rodinných příslušníků, převládají vaničky buď domácí výroby např. kombinace dřevo + sklo nebo nejlevnější prodávané typy založené na plastových přepravkách (obr. 2). Plastové vaničky ovšem nejsou vhodné z důvodu hygienických, protože plast se obtížně čistí, v povrchové vrstvě se mohou držet nečistoty. Pokud včelař vlastní větší množství včelstev, jsou vhodnější vaničky z oceli a pevnější konstrukcí. Tyto vaničky mohou být 2 až 3krát dražší než základní plastové, ale jsou výrazně trvanlivější, pevnější, lepší na čištění a pohodlnější na použití. Příklad takové vaničky je na obr. 2. Tyto vaničky jsou většinou ze dvou typů materiálů. Levnější vaničky jsou vyrobeny ohnutím nebo vylisováním pocínovaného plechu, který není vhodný pro velmi časté použití (povrchová úprava se postupně opotřebovává). Dražší vaničky jsou z nerezové potravinářské oceli, která má vysokou stálost a odolnost i v potravinářském použití. V této práci je použita nerezová ocel 17 240 s ohledem na využití v potravinářství.



Obr. 2 Ukázka plastové a nerezové odvíčkovací vaničky [15, 18]

Cílem práce je navrhnout vaničku z nerezové oceli 17 240 pro malovčelaře, pomocí technologie plošného tváření na lisech. Jedná se o tažení součásti nerotačního nesymetrického tvaru, kdy jedna strana je hlubší pro následné vyvrtání otvoru, dno je zešíkmené a zároveň vypouklé pro vypuštění zachyceného medu. Počet vyráběných vaniček je 1 500 kusů za rok.

Navrhovaná součást tj. odvíčkovací vanička má netypický tvar. V literatuře je především popsán výrobní postup jednoduchých rotačních, čtvercových nebo obdélníkových tvarů. Při výrobě nerotačních součástí je zapotřebí nalézt nejvhodnější výrobní postup, aby se dosáhlo maximálního využití materiálu a současně minimálních nákladů. Tažení nerotačních výtažků patří mezi moderní a vysoce produktivní odvětví a zároveň díly vyráběné tažením patří k těm nejlevnějším.

Pro plošné tváření je potřeba správně navrhnout velikost přístřihů. Přístřih lze vyrábět pomocí dvou různých technologických postupů. U menších kusů, kdy nezáleží tolik na geometrické přesnosti, lze využít vystřihnutí z polotovaru. Pro větší výstřižky se používá vypálení polotovaru pomocí laseru. Důvod pro toto řešení je ve výrazně rychlejší přípravě výroby, kdy není potřeba vyrábět složitý stříhací nástroj. Další výhodou pálení laserem je možnost změny rozměru polotovaru jen pomocí offsetu na stroji. Offset lze nastavit na určený rozměr od původního rozměru např. plus 3 mm. V případě složitější změny polotovaru, stačí změnit model a o správnou výrobu se postará CAD/CAM software. Změna tvaru a rozměrů polotovaru je v řádu minut, nikoliv dní jako u výroby stříhacího nástroje.

Výsledný výtazek se bude po vytažení s velkou pravděpodobností ostříhovat, a to z důvodu nerovnosti a zvlnění okraje/příruby kvůli anizotropii plechu. Pro dostatečné množství materiálu pod přidržovač se přidávají 3 – 5 % materiálu navíc. Povrchová úprava výsledného výrobku není nutná, protože zadaný materiál je určen k běžným potravinářským účelům.

Výroba součásti bude provedena konvenčním způsobem, tj. použitím kovového tažníku a tažnice, z důvodu malé hloubky součásti, nižší výrobní ceny a malosériové výroby, s možností rychlého obnovení výroby v případě potřeby výroby další objednávky.

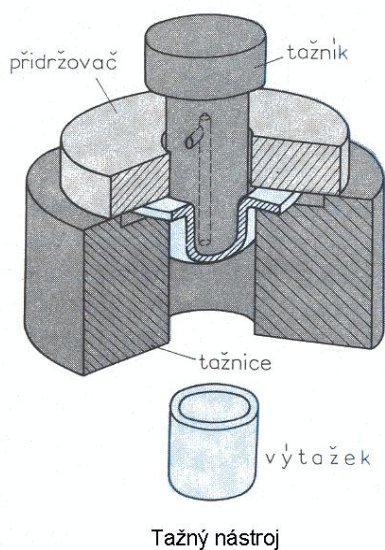
Běžně dostupné kovové vaničky jsou vyrobeny zohnutím plechu do požadovaného tvaru a následně v rozích svařeny. Nevýhodou tohoto provedení je mnohdy nekvalitní svar, který po čase koroduje, netěsní a uvolní se. Proto je metoda tažení navrhovaná pro výrobu této součásti vhodnější, kdy tento problém odpadá.

Proces tažení lze snadno ověřit simulací pomocí vhodného programu využívající metodu konečných prvků. Snadno odhalí kritická místa, ve kterých dojde k zeslabení tloušťky stěny a tím k porušení materiálu.

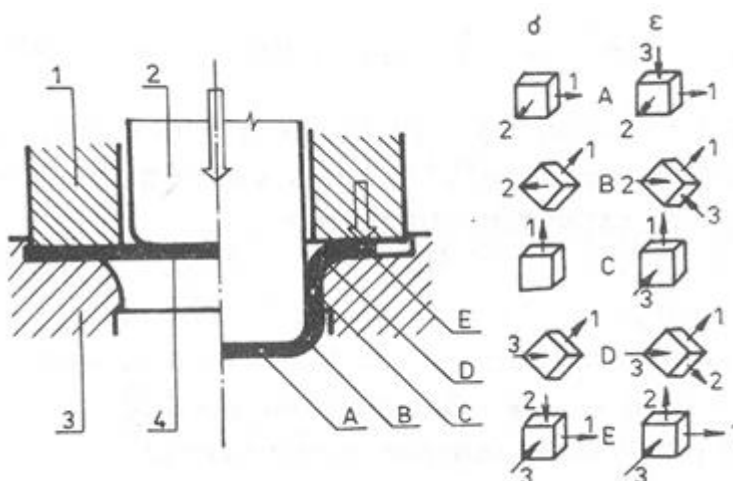
2 TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9]

Tažení součásti z pásů či plechů je takový technologický proces tváření, při kterém z rovinného přístřihu plechu vzniká prostorový výlisek nerozvinutelného tvaru. Je to jedna z nejdůležitějších lisovacích operací a velikosti i tvary výtažku jsou velmi rozmanité. Tažením se vyrábí řada součástí od běžných kuchyňských potřeb, přes lékařské nástroje, miniaturní součásti pro elektrotechniku až po součásti letadel nebo i rozměrné součásti pro automobilový průmysl. Výrobkem je výtažek, který je zhotoven jednou nebo několika tažnými operacemi podle složitosti součásti a nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku, tažnice a dalších konstrukčních částí. Podle tvaru výlisku lze proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez ztenčení stěny a na tažení se ztenčením stěny apod.

Hluboké tažení patří k nenáročnějším operacím plošného tváření, při kterém dochází k plastické deformaci. Deformace nastává v části pod přidržovačem a zanedbatelná je deformace na čele tažníku. Při tažení materiálu nástrojem v tažnici dochází k tečení do trojrozměrného tvaru a přístřih je pomocí přidržovače držen danou silou. Vysoké tlakové napětí přidržovače, které působí na kov je nezbytné, jinak by byl výtažek silně zvrásněn. Zvrásnění je jednou z nejčastějších vad u hlubokého tažení. Nejen, že může poškodit tažnici, ale nepříznivě působí na další části sestavy i na jejich funkci. Samotný proces hlubokého tažení ovlivňuje mnoho důležitých faktorů rozdělující se na materiálové, nástrojové, třecí faktory a faktory vybavení. Ovlivňující průběh hlubokého tažení a současně důležitou vlastností materiálu je anizotropie materiálu a koeficient zpevnění. Pro úspěšný proces hlubokého tažení je velmi důležité tření a mazání povrchu tažníku, tažnice a výtažku. Do malých oblastí výtažku vnáší tažení plastickou deformaci, velké oblasti výtažku jsou deformované, ale v různých částech výtažku je rozdílné napětí. Výchozím bodem se uvažují tři zóny procházející různými druhy deformace a to plochy přístřihu nevstoupené do dutiny tažnice (příruba), plochy přístřihu tažené v dutině tažnice (stěna) a oblast styku tažníku a přístřihu (dno).



Obr. 3 Princip tažení jednoduchého válcového tvaru [7]



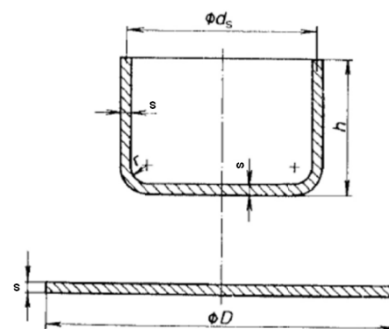
Obr. 4 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem [7]

2.1 Principy tažení [1, 2, 3, 7, 9]

Nejjednodušeji lze princip tažení vysvětlit na tažení jednoduchého válcového tvaru se dnem a následně lze obdobným způsobem získané výsledky aplikovat i na výtažky hranatých nebo nepravidelných tvarů. Z podmínky pevnosti válcové části nádoby se kontroluje síla potřebná k tažení a je potřeba uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu.

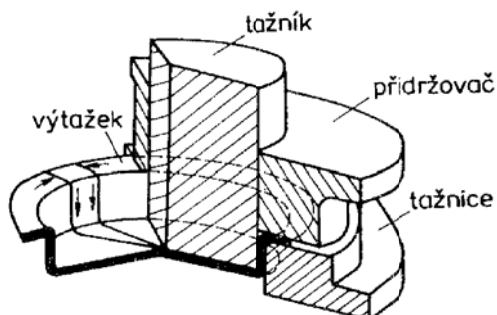
V úvahách o tažení se vychází z předpokladu, že tloušťka taženého plechu se tažením nemění, ale ve skutečnosti však dochází k určitým změnám tloušťky. Na okrajích výtažku se tloušťka zvětšuje a v rozích výtažku se tažený materiál zeslabuje. Tyto změny vznikají rozdílnou napjatostí, které se obvykle při výpočtech neuvažují a ve většině případů jsou zanedbatelné.

Občas se tloušťka stěny výtažku zeslabuje záměrně z funkčních důvodů, naopak jindy se redukuje tloušťka stěny výtažku pro dosažení lesklého a zpevněného povrchu. Průměr přístřihu se tedy při procesu tažení zmenšuje, tím se materiál na okraji pěchuje. To může zvláště u tenkých materiálů způsobit zvlnění okraje taženého přístřihu a následně tím i znemožnit další úspěšné tažení, ale dá se tomu zabránit tzv. přidržovačem, kterým se materiál přitlačuje k tažnici, aby zvlnění nemohlo nastat.



Obr. 5 Přístřih a výtažek [9]

Řez tažidlem a výtažkem je naznačen na obr. 6. Jedná se o tažení plochého přístřihu v prvním tahu. Přístřih se při tažení na tažnici vystředí a přidrží přidržovačem, následně začne sestupovat tažník, který dosedne na tažený materiál a dalším pohybem jej vtahuje do otvoru tažnice. V zakreslené poloze je část přístřihu již tažena, zatímco mezi přidržovačem a tažnicí zůstává ještě tažením miniaturní prstencovitý zbytek plochého přístřihu. Zakreslením dvou přímk na přístřihu před tažením, vycházející ze středu pod libovolným úhlem, změnila by se tažením jejich vzájemná poloha tak, že ve stěnách výtažku by se z nich staly rovnoběžky. V okrajovém prstencovitém zbytku přístřihu by se během tažení stále k sobě přibližovaly, a to s jeho zmenšujícím se průměrem a jeho naznačený pohyb materiálu dává představu působících sil. Dvě šipky na okraji prstence představují tlakové napětí při redukci průměru přístřihu a tyto síly mohou občas způsobit zvlnění okraje materiálu. Svislé šipky znázorňují napětí v tahu v postranních stěnách výtažku, způsobené tlakem tažníku na dno výtažku. Je-li odpor příliš velký proti tažení v okrajovém prstenci výtažku, dosáhne napětí v tahu v postranních stěnách takové hodnoty, že se poruší výtažek v oblasti dna.



Obr. 6 Řez tažidlem a výtažkem [9]

2.2 Tažení rotačních výtažků [7, 9]

Tažení rotačních výtažků je založeno na předpokladu symetrického stavu napětí a deformace. Patří mezi nejjednodušší a nejvýznamnější způsoby tažení plechu a táhnou se součásti válcového tvaru s přírubou, nebo bez příruby a součásti složitějšího tvaru jsou různé kuželové, parabolické a půlkulové součásti. Tažením se vyrábí z rovinných přístřihů prostorově duté výlisky, které nelze zpětně rozvinout oproti ohýbaným výliskům. Výpočtové vztahy odvozené pro rotační výtažky jsou základem, které lze aplikovat na složitější výtažky nepravidelných nebo obdélníkových tvarů (nerotační výtažky). Využití rotačně symetrických výtažků je hlavně ve strojírenství, ve spotřebním průmyslu a také v elektrotechnice.

2.2.1 Velikost přístřihu [2, 6, 7, 9, 14]

Základním materiálem je přístřih tabule plechu, u rotačních součástí vyráběných tvářením se nazývá rondel. Určení tvaru přístřihu je velmi důležité, protože výrazně ovlivňuje kvalitu výtažku. Velikost přístřihu je v principu teoretický tvar zpětně rozvinutého výtažku. U rotačních těles se používá pro stanovení průměru přístřihu graf a různé vzorce stanovené pro nejběžněji používané základní plochy (Příloha 1). Při výpočtu se vychází z rovnosti ploch a objemů výtažku. U plechu, kdy $t > 2 \text{ mm}$ se počítá rozvinutá plocha ze střední tloušťky a ztenčení se zanedbává. Na ostřížení výtažku se přidává k jeho výšce až 10 % z celkové plochy výtažku.

Velikost průměru přístřihu se vypočte dle vzorce:

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d_1 \cdot h} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

kde: D – průměr přístřihu [mm]
 d_1 – vnitřní průměr výtažku po prvním tahu [mm]
 h – celková vnitřní výška výtažku [mm]

Vztah (1) zanedbává zaoblení r_o . Při malém poloměru r_o lze stanovit průměr přístřihu D z diagramu (Příloha 2).

Hranice použití vzorce (1) se omezuje do zaoblení $r_o = (3 \text{ až } 8) s_o$

Pro větší poloměr zaoblení $r_o > 8 s_o$ se použije vzorec:

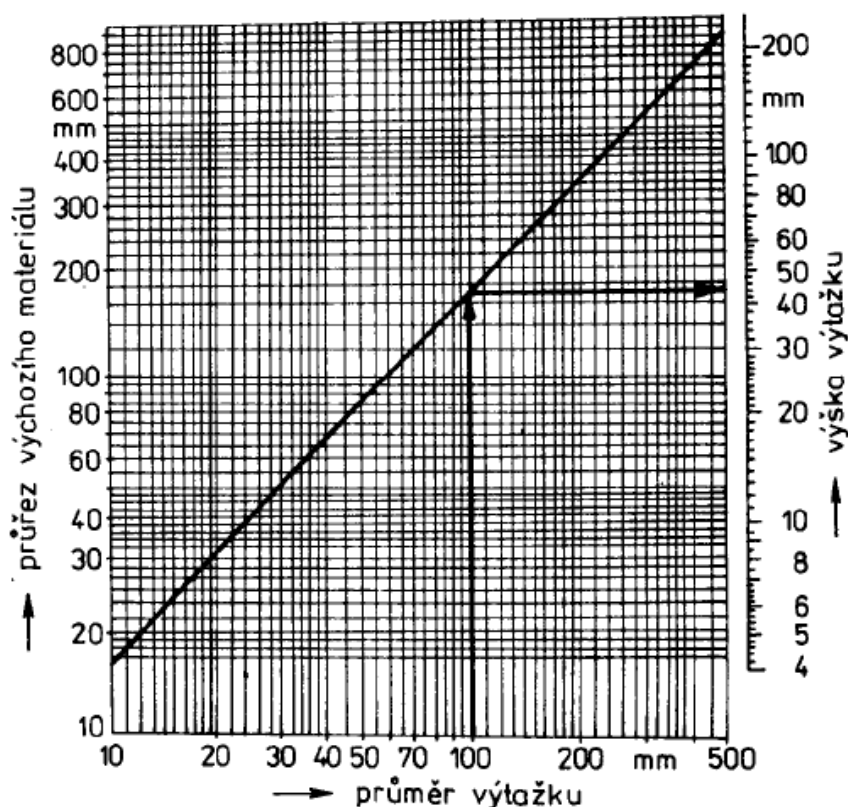
$$D = \sqrt{0,25d_1^2 + d_1 \cdot (h_p + 0,57r_o) - 0,14r_1^2} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

kde: h_p – výška válcového pláště výtažku [mm]: $h_p = h - r_o$
 r_o – poloměr zaoblení mezi dnem a pláštěm výtažku [mm]
 s_o – výchozí tloušťka plechu [mm]

2.2.2 Počet tažných operací a stanovení součinitele tažení [1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 14]

Určení počtu tahů vychází z přístřihu a závisí na velikosti a tvaru výtažku a na tloušťce taženého materiálu. Nedosáhne-li se požadovaného výtažku v jedné operaci, musí se výtažek táhnout ve více operacích. S ohledem na výrobní náklady

je snaha výtažek vyrobit co možná s nejmenším počtem tažných operací. Pro rychlý odhad, zda lze výtažek získat jednou tažní operací, slouží nomogram (Obr. 7).



Obr. 7 Nomogram k určení výšky výtažku dosažitelné v prvním tahu [9]

Požadovaný stupeň deformace je kritériem pro stanovení počtu tahů. Jedním z ukazatelů stupně deformace je součinitel tažení M . Hodnota součinitele je ovlivněna druhem materiálu, tloušťkou plechu, tvarem výtažku a počtem tažných operací. Součinitel tažení udává mezní hodnotu přetvoření pro danou operaci.

Součinitel tažení:

$$M = \frac{d}{D} \quad [-] \quad (3)$$

Pro první tah platí $M_1 = \frac{d_1}{D} \quad [-] \quad (4)$

Pro druhý tah platí $M_2 = \frac{d_2}{d_1} \quad [-] \quad (5)$

Pro n -tý tah platí $M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \quad [-] \quad (6)$

kde: M – součinitel tažení [-]

M_1 – součinitel odstupňování prvního tahu [-]

M_2 – součinitel odstupňování druhého tahu [-]

M_n – součinitel odstupňování n -tého tahu [-]

d – střední průměr výtažku [mm]

d_2 – vnitřní průměr výtažku po druhém tahu [mm]

d_n – vnitřní průměr výtažku po n -tém tahu [mm]

Celkový součinitel tažení:

$$M_c = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \dots M_n \quad [-] \quad (7)$$

kde: M_c – celkový součinitel [-]
 M_3 – součinitel odstupňování třetího tahu [-]

Poměrné přetvoření po 1. tahu je při tažení dáno vztahem:

$$\varepsilon = \frac{D-d_1}{D} = 1 - M_1 \quad [-] \quad (8)$$

kde: ε – poměrné přetvoření [-]

Stupeň tažení – převrácená hodnota koeficientu tažení M . Udává maximální deformaci pro jeden tah a počtu tažných operací. Vypočte se pro 1. tah:

$$K = \frac{1}{M} = \frac{D}{d_1} \quad [-] \quad (9)$$

kde: K – stupeň tažení [-]

2.2.3 Tažná mezera [2, 8, 9, 14]

Mezera mezi stěnami tažníku a tažnice je při operacích hlubokého tažení velmi důležitým parametrem. Vůle mezi tažníkem a tažnicí je závislá především na tloušťce materiálu. Při tažné operaci bez ztenčení stěny výtažku by mezera měla být větší než samotná tloušťka materiálu, aby se přebytečný materiál přemístil a nepěchoval se. Příliš malá mezera by mohla způsobit proražení nebo roztržení materiálu tažníkem. Pokud tažná mezera je příliš velká, dochází ve stěně výtažku k tvorbě vln a zhorší se jakost povrchu. Hodnota tažné mezery je vyjádřena buď jako procento tloušťky materiálu nebo pomocí vztahu v závislosti na tloušťce a druhu materiálu.

Podle normy ČSN 22 7301 je doporučena hodnota:

$$\text{pro 1. tah} \quad t_m = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

$$\text{pro poslední tah} \quad t_m = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s_0 \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

kde: t_m – tažná mezera mezi tažníkem a tažnicí [mm]

2.2.4 Tažná rychlost a určení tažné síly [1, 2, 4, 7, 8, 9]

Na době trvání jednoho pracovního zdvihu závisí rychlost tažné operace. Počet zdvihů se může měnit v širokém rozsahu, ale jen u moderních lisů. Tažná rychlost by neměla při běžném tažení překročit určitou hranici, mohlo by nastat porušení

výtažku. Přibližné hodnoty tažných rychlostí pro klasické tažení se zjistí i pomocí tabulky doporučených rychlostí (Tab. 1).

Tab. 1 Doporučené rychlosti tažení kovů [9]

Tažený materiál	Tažná rychlost (m·min ⁻¹)
austenitická korozivzdorná ocel	7
nelegovaná ocel	17
hliník a jeho slitiny	25
měď a její slitiny	66

Při výpočtu tažné rychlosti se obvykle uvažuje nejvyšší rychlost tažení, tedy rychlost v okamžiku dosednutí tažníku na materiál.

$$v \doteq 0,0063 \cdot n \cdot \sqrt{z \cdot p - p^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (12)$$

kde: v - tažná rychlost [m · min⁻¹]
 n_l - počet otáček lisu [min⁻¹]
 z - celkový zdvih beranu lisu [mm]
 p - pracovní pohyb tažníku, tj. od okamžiku dosednutí tažníku na materiál až po dosažení spodní krajní polohy [mm]

Při stanovení tažné síly se užívá řada vzorců. Používají se dva druhy a to teoretické, které jsou na základě rozboru napjatosti a deformace a praktické vzorce, které vychází z meze pevnosti ve výtažku. Tažná síla musí překonat odpory spojené s tvárnou deformací a též odpory třecí.

Celková tažná síla:

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (13)$$

kde: F_c – celková tažná síla [N]
 F_t – tažná síla [N]
 F_p – tlak přidržovače [N]

Celková tažná síla s vyhazovačem:

$$F_c = F_t + F_p + F_v \quad [\text{N}] \quad (14)$$

kde: F_v – síla vyhazovače [N]

Maximální tažná síla, kterou mohou stěny výtažku přenášet:

$$F_{tmax} = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (15)$$

kde: F_{tmax} – maximální tažná síla přenášená stěnami výtažku [N]
 R_m – pevnost taženého materiálu v tahu [MPa]
 π - Ludolfovo číslo [-]

Skutečná tažná síla, bývá poněkud nižší než maximální a liší se tím, že se zde zahrnuje součinitel tažení M .

$$F_{tskut} = n \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (16)$$

kde: F_{tskut} – skutečná tažná síla [N]
 n – koeficient závislý na součiniteli tažení M [-]

Skutečná síla musí vyjít menší, než síla maximální jinak dojde k utržení dna výtažků. Při více operačním tažení se z pravidla po 3. operaci uskutečňuje mezioperační žíhání.

2.2.5 Použití přidržovače [2, 3, 4, 9, 14]

Součástí tážného nástroje pro hluboké tažení plechu je přidržovač. Přidržovač vyvozuje sílu (tlak), která má zabránit zvlnění příruby. Zvlnění na přírubě vzniká, pokud je přidržovací síla (tlak) malá, při nepřipustné přidržovací síle dochází k porušení výtažku. U nízkých výtažku tažených z tlustého plechu není použití přidržovače nutné.

Nutnost použití přidržovače se určí podle vzorce:

$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad [-] \quad (17)$$

kde: Z – materiálová konstanta [-]
 k_p – součinitel určující nutnost použití přidržovače [-]

Je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$ [-], tak je nutno výtažek táhnout přidržovačem,

$k_p < \frac{100 \cdot d_1}{D}$ [-], může se výtažek táhnout bez přidržovače.

Tab. 2 Vybrané hodnoty materiálové hodnoty [14]

Materiálová konstanta	Ocelový hlubokotažný plech	Mosazný plech	Hliníkový plech
Z	1,9	1,95	2

Síla přidržovače se počítá dle:

$$F_p = S_c \cdot P_p \quad [\text{N}] \quad (18)$$

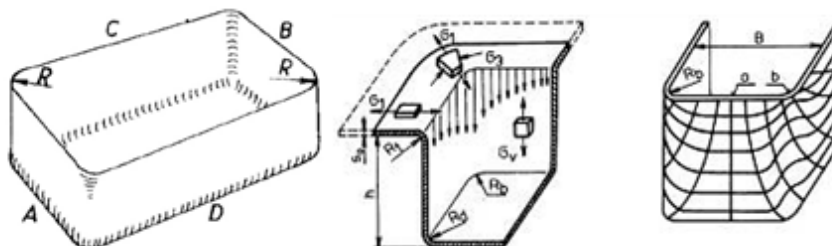
kde: S_c – činná plocha pod přidržovačem [mm²]
 P_p – měrný přidržovací tlak [MPa]

Tab. 3 Doporučené hodnoty měrných tlaků přidržovače [2]

Materiál	[MPa]
ocelový hlubokotažný plech	2,0 až 3,0
nerezový plech	2,0 až 5,0
měděný plech	1,2 až 1,8
mosazný plech	1,5 až 2,0
hliníkový plech	0,8 až 1,2

2.3 Tažení nerotačních výtažků [2, 6, 9, 10, 20]

Jedná se o tvarově různorodé dílce jednak otevřené, u kterých jde v principu o tažení s kombinací ohybu, nebo dílce uzavřené, pravidelné či nepravidelné. Představují základní technologický tvar, který se vyrábí s přírubou či bez příruby. Na rozdíl od kruhových výtažků dochází při hlubokém tažení hranatých výtažků k napětové nerovnoměrnosti podél tažné hrany a tím také k nerovnoměrnosti deformací. Průběhy napětí jsou znázorněny na obr. 8, z něhož je patrné, že k tažení dochází jen v rozích. Strany jsou tvořeny pouhým ohybem. Úseky se vzájemně ovlivňují. Stěny mají pozitivní vliv, protože částečně potlačují v oblasti rohů vznik vln.



Obr. 8 Výtažek s taženými rohy a ohýbanými stěnami, napětové schéma při tažení pravoúhlého výtažku a deformace sítě [9, 10]

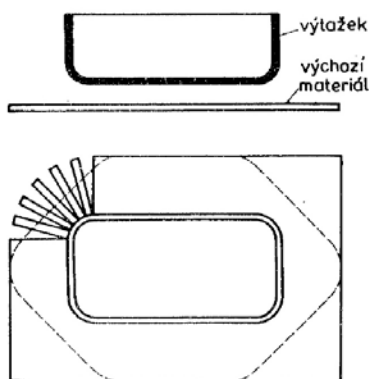
2.3.1 Určení tvaru a velikosti polotovaru přístřihu [2, 6, 7, 9, 20]

Při tažení výtažků nerotačních tvarů přístřihu nastává mnoho problémů, které se nevyskytují při tažení rotačních tvarů. Jedná se o výtažky čtvercového, obdélníkového nebo nepravidelného tvaru.

Tažený materiál je v některých místech silně namáhán tahem, v jiných místech tlakem. Určování tvaru a rozměru přístřihu je složitější vzhledem k nerovnoměrnému přetvoření podél obvodu. Kov má snahu unikát z míst většího zatížení do míst, kde je zatížení menší, tím vzniká stranový únik kovu, který lze na výtažcích dobře rozpoznat světlejším zabarvením více namáhaného místa nebo přítomností tokových čar. Při kombinaci tažení, ohýbání a stranového toku materiálu jsou kladeny zvýšené požadavky na konstrukci a provedení tažidel a jedním z problémů je i nalezení správného tvaru přístřihu současně, aby nevznikalo zbytečné plýtvání materiálem a nezvyšoval se potřebný počet tažných operací. Správným tvarem se často vynechává i dodatečná ostříhovací operace.

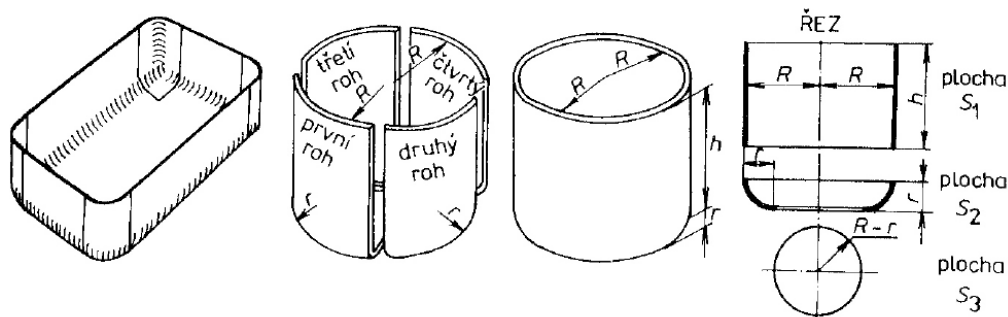
Při tažení nerotačních výtažků nelze použít stejného způsobu pro nalezení správného výchozího tvaru materiálu jako u tažení rotačních výtažků, kde by se po celém obrysu výtažku přidalo stejného množství materiálu, a přebytečný materiál v rozích by se vystříhal. Jednalo by se pouze o ohýbání a rozstříhané části materiálu zůstanou nespojeny (obr. 9). Přebytečný kov se musí tažením přemístit. Způsobí se tím změna výšky výtažku v rohových částech, ale změna nebude rovnoměrná podél celého obvodu výtažku a omezí se pouze na rohové části, kde je materiál skutečně tažen a ne pouze ohýbán. Vystřihovaný kov v rozích plochého polotovaru představuje takové množství kovu, které se při tažení přemísťuje a v rozích polotovaru se musí ubrat. Na obr. 9 je naznačen čárkovaně přibližný výchozí tvar.

Vhodný tvar přístřihu se ve většině případů hledá zkusem. Tento způsob určování přístřihu je nepřesný a zdoluhavý a vyžaduje značných zkušeností. Výhodnější je určit správný tvar přístřihu graficky nebo početně tak, aby přemísťovaný kov právě stačil k vyplnění rohů výtažku do roviny s postranními stěnami. S výhodou lze využít softwaru pro simulaci tažení.



Obr. 9 Výtažek a teoretický tvar výchozí plochého polotovaru nutného pro jeho zhotovení pouhým ohýbáním [9]

Při tažení mělkých výtažků nerotačního tvaru s velkým zaoblením rohů nezáleží tolik na tvaru přístřihu a často postačí čtvercové nebo obdélníkové přístřihy. Většinou se volí přístřihy úmyslně větší a u dna musí být přístřih silně přidržován, aby se zabránilo jeho zvlnění, a výtažek se po tažení ostříhne. Lze použít i brzdících lišt, pokud by zvětšení přístřihu nestačilo k dokonalému přidržení při tažení.



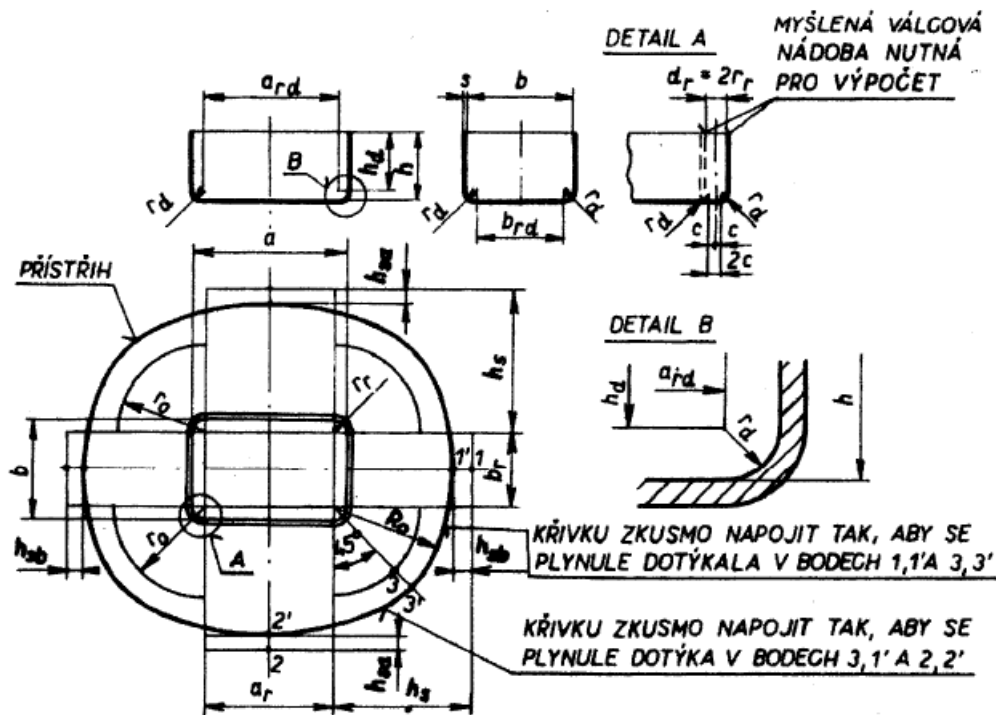
Obr. 10 Válcový výtažek, jehož teoretický tvar získáme/je získán odříznutím rohů obdélníkového výtažku a jejich spojením [9]

Při určování velikosti přístřihu se vypočte poloměr přístřihu myšlené válcové nádoby vložené do rohů výtažku. Vychází se z rovnosti objemů přístřihu a výtažku.

$$r_o = \sqrt{0,25d_r^2 + d_r(h_d + 0,57r_d) - 0,14r_d^2} \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

kde: r_o – poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn [mm]
 d_r – průměr zaoblení bočních stěn výtažku [mm]
 h_d – výška rovinné části boční stěny výtažku [mm]
 r_d – poloměr zaoblení mezi dnem a boční stěnou výtažku [mm]

Pro rychlé určení r_o lze použít diagram (Příloha 3). Určením velikosti poloměru r_o se může přistoupit k vlastní konstrukci výchozího tvaru přístřihu s nakresleným obdélníkem (obr. 11). Teoretický tvar přístřihu nelze použít k samotnému tažení, protože materiál uniká do stěn a z toho důvodu se přechody zaoblí poloměrem r_o . Potom vzniknou tři základní tvary rohů přístřihu, podle vzájemnému poměru hodnot (obr. 12).



Obr. 11 Konstrukce tvaru přístřihu [20]

Rozvinutá délka stěny se vypočítá dle vzorce (20) a pro rychlé určení h_s lze použít diagram (Příloha 3).

$$h_s = 0,57 \cdot r_d + h_d + 0,5 \cdot d_r \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

kde: h_s – rozvinutá výška v rovných stěnách výtažku [mm]

Redukovaný poloměr přístřihu, který vyjadřuje přemísťování materiálu v podélných stěnách, se vypočítá:

$$R_o = x \cdot r_o \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

kde: R_o – redukovaný poloměr přístřihu v místě zaoblení bočních stěn [mm]
 x – koeficient zvětšení poloměru r_o [-]

Koeficient se vypočítá:

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_o}{d_r}\right)^2 + 0,982 \quad [-] \quad (22)$$

Zmenšením rozvinuté výšky stran a, b:

$$h_{sa} = y \cdot \frac{r_o^2}{a_{rd}} \quad [\text{mm}] \quad (23)$$

$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_o^2}{b_{rd}} \quad [\text{mm}] \quad (24)$$

kde: h_{sa} – zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně a [mm]

h_{sb} – zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně b [mm]

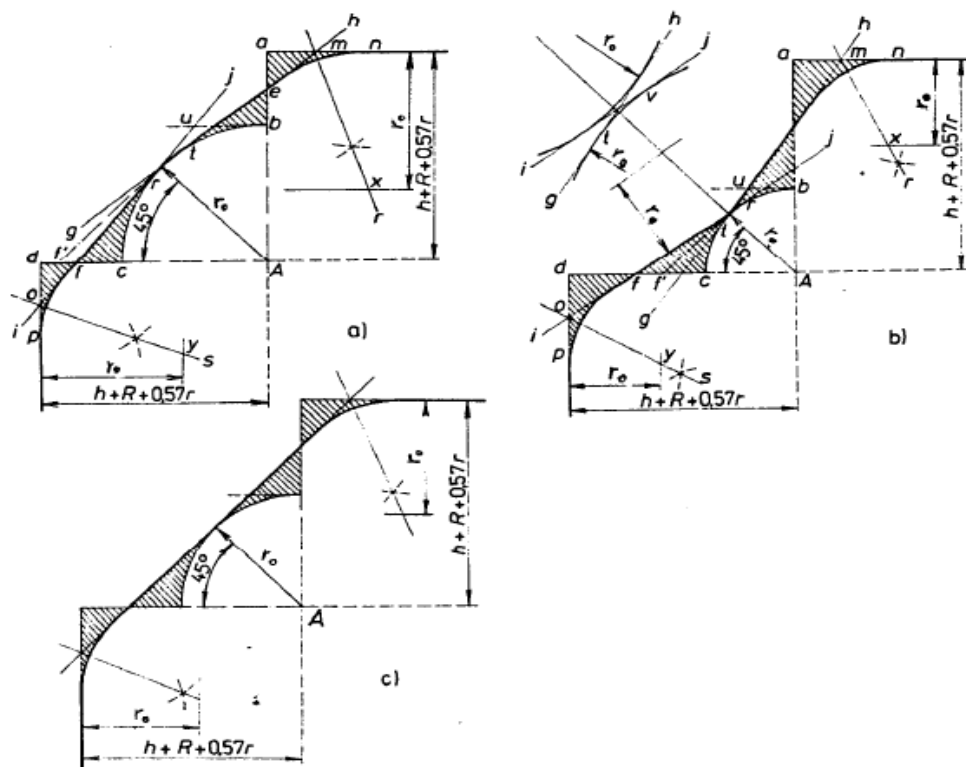
a_{rd} – vzdálenost středů zaoblení r_d , odpovídající straně a u konečného tvaru výtažku [mm]

b_{rd} – vzdálenost středů zaoblení r_d , odpovídající straně b u konečného tvaru výtažku [mm]

y – koeficient zmenšení výšky h_s [-]

Koeficient se vypočítá dle vzorce (25) nebo pro rychlé určení lze použít diagram (Příloha 4).

$$y = \frac{\pi}{4} \cdot (x^2 - 1) \quad [-] \quad (25)$$



a) tvar vypouklý, b) tvar vydutý, c) tvar rovný

Obr. 12 Konstrukce tvaru rohu přístřihu u nerotačních výtažků [9]

2.3.2 Určení počtu tažných operací [2, 9]

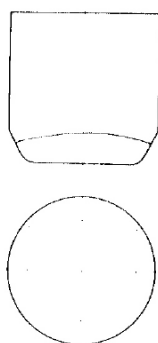
Při tažení nerotačních výtažků se obtížně určuje správný počet tažných operací. Ovlivňuje ho množství veličin. Mezi hlavní veličiny se řadí velikost zaoblení v rozích R , velikost výtažku, druh taženého materiálu, tloušťka taženého kovu, velikost zaoblení u dna výtažku, poměr mezi velikostmi zaoblení v rozích a délkou rovné části stěny výtažku, tvar přístřihu, šířka příruby výtažku (je-li vyžadována), konstrukce a provedení tažidla, tažná rychlost, mazání a upnutí nástroje na lise.

Veškeré tyto faktory ovlivňují počet tahů a kladný výsledek tažné operace. Největší vliv na určení počtu tažných operací má velikost zaoblení v rozích R a na tom je přímo závislá výška výtažku, kterou lze dosáhnout v prvním tahu. Roh čtvercového výtažku je jedinou částí, která se táhne. Dosažitelná redukce je podstatně větší u čtvercového tvaru, neboť materiál částečně uniká do stěn výtažku. V dalších operacích se volí přibližně stejná, nebo jen málo postupně klesající redukce. V tabulce 4 jsou uvedené orientační hodnoty maximální a dosažitelné výšky výtažku v prvním tahu pouze při tažení zvláště hlubokotažného materiálu, ale vychází se pouze ze zaoblení v rozích a ostatní činitelé nejsou zohledněni.

Tab. 4 Závislost maximální výšky nerotačních výtažků [9]

Velikost zaoblení R [mm]	Maximální výška výtažku [mm]
do 5 mm	$8R$
přes 5 do 10 mm	$7R$
přes 10 do 13 mm	$6R$
přes 13 do 19 mm	$5R$
přes 19 mm	$4R$

Někdy je výhodné v prvním tahu trochu zaoblit stěny výtažku a teprve v dalším tahu je vyrovnat. Tím se při tažení nejenom pouze ohýbají, ale i částečně táhnou. Podmínky se tak pro tažení zlepšují. První tah u čtvercových výtažků lze někdy provést zcela rotační se čtvercovitým zakončením čela a dá se použít i tam, kde je potřeba k dokončení výtažků více tahů než dvou.



Obr. 13 Válcový výtažek pro první tah čtvercového tvaru [9]

2.3.3 Velikost tažné síly [2, 9]

Podle velikosti tažné síly se určuje, jak vhodný lis k tažení, tak maximální velikost síly, kterou lze táhnout, aby nedošlo k vytržení dna výtažku. Maximální velikost tažné síly se vypočte obdobně jako u součástí rotačních součinem obvodu, tloušťky a pevnosti taženého materiálu v tahu. U výtažku čtvercového nebo obdélníkového

tvaru se výpočet velikosti tažné síly musí rozlišit síla potřebná k tváření přímé části stěny výtažku, která se pouze ohýbá a síla nutná k tváření rohové části, kde nastává vlastní tažení.

Celková tažná síla se vypočte dle vztahu (13) a (14) v kapitole 2.2.4.
Maximální tažná síla F_t při tažení pravoúhlých výtažku se vypočte:

$$F_{tmax} = R_m \cdot s \cdot (2\pi \cdot R \cdot c_1 + L \cdot c_2) \quad [\text{N}] \quad (26)$$

kde: F_{tmax} – maximální tažná síla [N]
 R – poloměr zaoblení výtažku [mm]
 c_1 – součinitel pro výpočet tažné síly [-]
 kde: $c_1 = 0,5$ pro mělké výtažky
 $c_1 = 2,0$ pro hlubší výtažky
 c_2 – součinitel pro výpočet tažné síly [-]
 kde: $c_2 = 0,2$ pro nulový přidržovací tlak
 $c_2 = 0,3$ pro normální přidržovací tlak
 L – součet délek přímých částí stěn výtažku [mm]

2.3.4 Tažná vůle [2, 9, 20]

Tažná vůle je rovna tloušťce taženého materiálu. Pro první tahy u tažidel je nepatrně větší, asi 1,1 násobek tloušťky materiálu. Přirozené zvětšení tloušťky materiálu při tažení se umožní, zvětšuje-li se tažná vůle v rozích. U posledního tažidla při větším počtu tažných operací se používá větší tažná vůle, protože při každé redukci se tloušťka kovu v rozích poněkud zvětší.

Tažná mezera v podélné stěně:

$$tm_1 = tm_n(1,15 \div 1,3) \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (27)$$

Tažná mezera v rozích:

$$tm_{r1} = tm_{rn}(1,3 \div 1,4) \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (28)$$

kde: tm_1 (tm_n) – tažná mezera prvního (n -tého) tahu v rovných stěnách výtažku [mm]
 tm_{r1} (tm_{rn}) – tažná mezera prvního (n -tého) tahu v místě zaoblených stěn výtažku [mm]

2.3.5 Tažný poloměr [2, 9]

U tažnic je tažný poloměr asi stejně velký, jako u tažnic pro rotační výtažky, tj. 6 až 10násobek tloušťky taženého materiálu. Čím je tažný poloměr menší, tím je kov při tažení více namáhán, ale okraje u dokončeného výtažku jsou rovnější. Větším poloměrem se námaha kovu snižuje, ale cípatost okrajů výtažků se zvětšuje.

Tažný poloměr tažnice v prvních tazích je největší, v dalších se postupně zmenšuje. Zešíkmení hran tažnice není pro nerotační výtažky vhodné.

Táhne-li se s přidržovačem, tak zaoblení u dna výtažku nemá být příliš malé a nemá být menší než dvojnásobek tloušťky materiálu. Zvětšení poloměru zaoblení

dna v rozích až na dvojnásobek zaoblení dna podél rovných stěn výtažku je výhodné u materiálů větší tloušťky. Sníží se tím a zabrání namáhání materiálu a jeho možnému trhání.

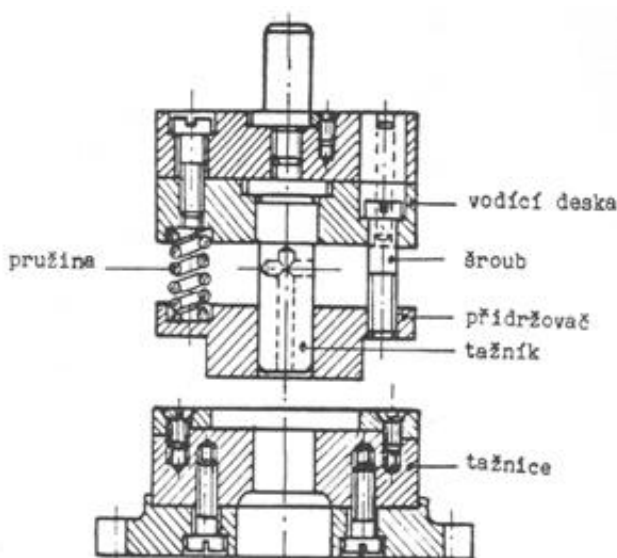
2.4 Tažné nástroje [1, 4, 7, 8, 9]

Pro konstrukci tažného nástroje je zapotřebí rozlišovat tažidla pro první tahy a tažidla pro druhé a další tahy. Podle druhu a počtu tahů se nástroje dělí na jednoduché, postupové, u kterých jdou za sebou dvě nebo více operací, nástroje sloučené, které slučují operace stejného druhu současně při jednom zdvihu na jednom nástroji, nebo sdružené nástroje, ty slučují operace různého druhu. Tažné nástroje se rozlišují i podle přidržovače, které se dělí buď na nástroje s přidržovačem, nebo bez přidržovače.

2.4.1 Tažidla pro první tahy [4, 7, 9]

Na menší počet výtažků obvykle vystačí prvně nastříhat potřebný počet plochých výchozích polotovarů a v dalších operacích z nich získat tažením požadovaný tvar. Vyrábí-li se polotovar vystřihováním z pásu, je výhodné vystřížení polotovaru spojit s tažením v jediném sdruženém nástroji. Provedení nejjednoduššího nástroje je možné při použití dvoučinného lisu. Nejen, že je tento způsob výroby jednoduchý, ale i produktivní.

Vystřížení a tažení lze současně provádět i na jednočinných lisech, je však potřeba použít složitější konstrukci nástroje. Na obr. 14 je ukázka tažného nástroje.

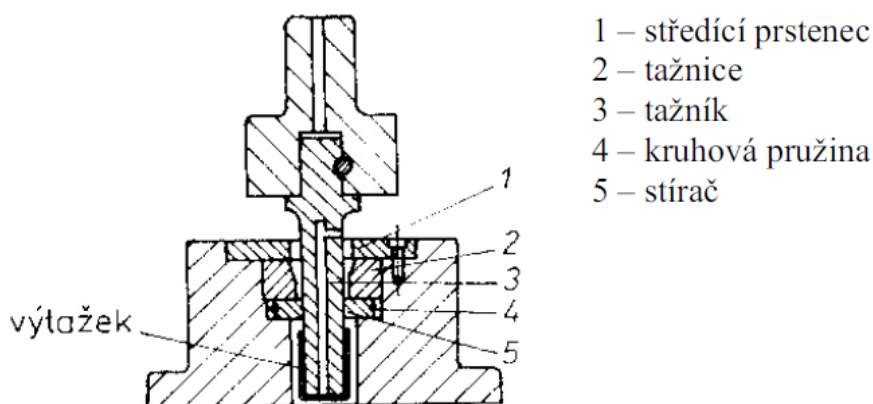


Obr. 14 Tažný nástroj [7]

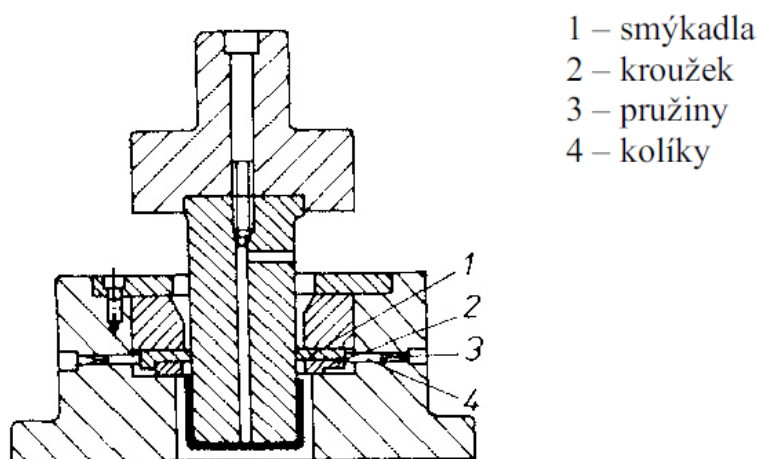
2.4.2 Tažidla pro druhé a další tahy [7, 9]

Pro úspěšné tažení vyžadují tažidla pro druhé a další tahy správný druh vysunovače a vhodný tvar tažné hrany u tažnice. Výroba součástí druhou a další tažnou operací lze provést na lise jednočinném, kde výtažek propadá tažnicí, které se používají hlavně k redukci průměru malých a středně velkých výtažků (do 90 mm) z tenkého materiálu a lisy jednočinné s přidržovacím prstencem a vrácením výtažku zpět pro menší výtažky, asi do průměru 25 mm. Lze je táhnout v tažidle (obr. 15),

kde se výtažek vkládá ručně do středícího prstence. Větší výtažky z tlustšího materiálu se redukuje v tažidle (obr. 16), kde je robustnější stírač, jinak se podobá předchozímu tažidlu.



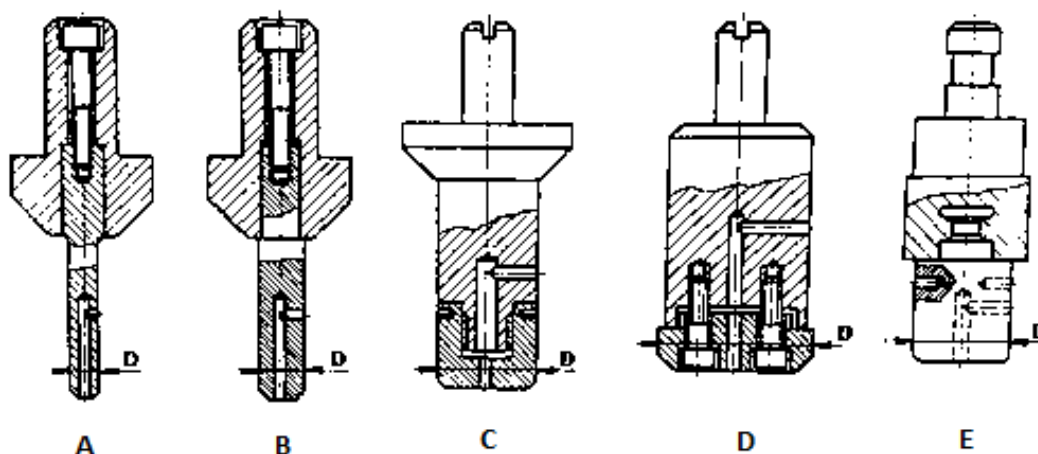
Obr. 15 Tažidlo s jednoduchým stíračem [9]



Obr. 16 Tažidlo pro větší výtažky vyžadující silnější stírač [9]

2.4.3 Konstrukce tažníků [4, 8]

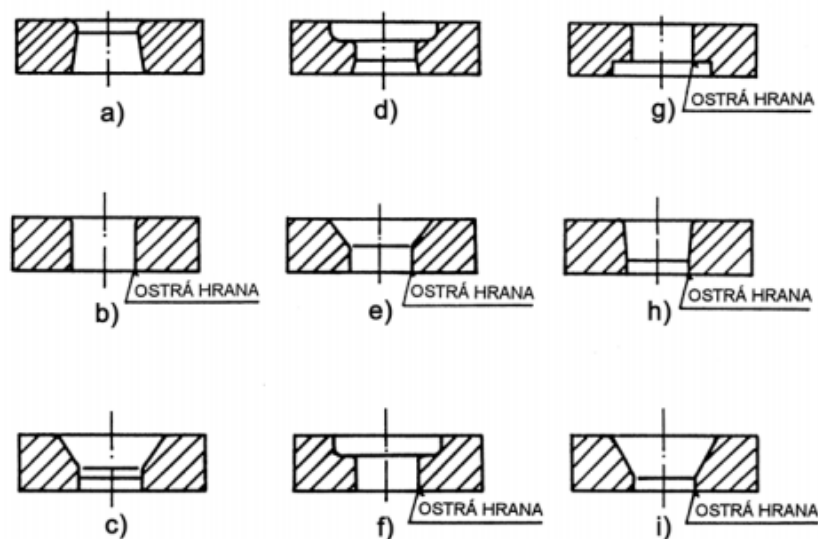
Tažníky jsou nástroje, jejichž funkčními částmi je čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Vnější průměr je současně vnitřním průměrem výtažku. Tažníky pro menší průměry výlisků bývají celistvé včetně stopky nebo je stopka k nim přišroubovaná. Pro větší průměry a větší série bývají tažníky dělené. Tažníky se upínají za stopku a jsou namáhány na vzpěr a na obvodu válcové části radiálními silami. Různé konstrukce podle velikosti jsou zobrazeny na obr. 17, kde je zobrazen tažník používaný pro výtažek do průměru 25 mm a), s průměrem do 30 mm b), do 80 mm c), nad 100 mm d) a tažník, který je do držáku tažníku našroubován e). Pro snazší stírání výtažku z tažníku musí být všechny tažníky opatřeny odvodušňovacím otvorem.



Obr. 17 Konstrukce tažníků [1]

2.4.4 Konstrukce tažnic [4, 8, 21]

Tažnice se konstruuji jako celistvé nebo vložkové. Vložkuje se pouze tažná hrana. Pro rotační výlisky bývají celistvé a mají tvar prstence. Tvar a úprava funkčních ploch tažnice je závislá na druhu materiálu, tvaru výtažku, počtu tahů a na způsobu odstraňování výtažku z tažnice. Možné druhy funkčních otvorů tažnic na obr. 18, které jsou dělené hlavně na část, kde se výtažek vrací nad tažnici, tj. u tažnic s úkosem, nebo výtažek propadá tažnicí, tj. u tažnic s ostrou hranou.

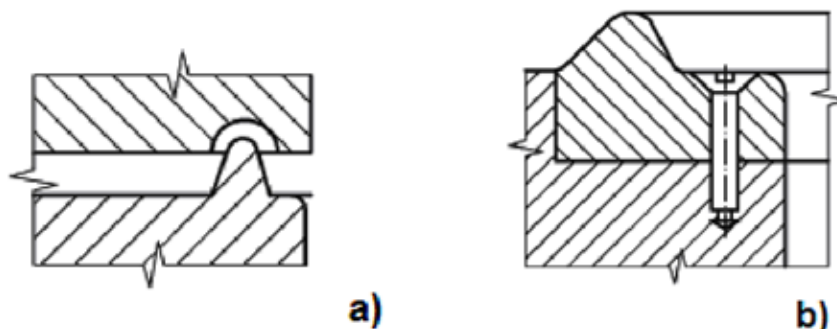


Obr. 18 Možné druhy funkčních otvorů tažnic [21]

2.4.5 Brzdící žebra [8]

Při výrobě nepravidelných a zvláště velkých výtažků se používá různých způsobů úpravy tažnic, aby se zabránilo tvoření vln, tato úprava spočívá v přibrzdění. Nejčastěji se používá upravení tažnice vestavěním jednoho nebo více brzdících žebířů a použití pravoúhlých brzdících žebířů na tažnici. Žebíř se dělá dvojím způsobem a to způsobem vtahovacím, vhodné hlavně pro kruhové výtažky a

způsobem brzdícím, který umožňuje tažení velkých nepravidelných výtažků (obr. 19). Žebro není po celém obvodu tažnice, převážně jen v rovinných částech. Brzděním usměrňují pohyb materiálu a mohou být i v několika řadách za sebou. Brzdící žebra pomáhají snižovat sílu přidržovače a pomáhají i snižovat opotřebení tažných nástrojů.



Obr. 19 Ukázka vtažovacího a) a brzdícího b) žebra [8]

2.4.6 Přidržovače [8]

Pro zajištění správného průběhu tažení při hlubších tazích je často třeba použít přidržovač. Jeho účelem je zabránit ztrátě stability v přírubě výtažku. U jednočinných lisů se používá mechanických typů přidržovačů, které lze dělit na pevné a pružinové. Další vhodné jsou pneumatické a hydraulické, které jsou dražší a technicky složitější. Přidržovač u dvoučinných lisů je poháněn vnějším beranem lisu prostřednictvím váčkového, váčko-pákového nebo kličko-pákového mechanismu.

2.4.7 Materiály tažných nástrojů [4]

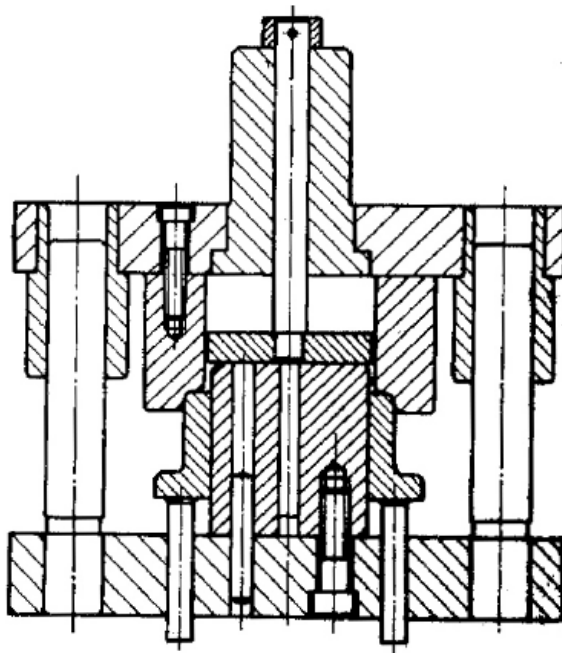
Doporučené materiály pro jednotlivé části tažidel jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 Doporučené materiály na části tažidel [4]

Část tažidla	Materiál	HRC
Tažník, tažnice	19 191, 19 436, 12 061, 42 24 56	58 až 63
Základové desky	42 24 56, 42 26 61.2	
Základní kroužky	Ocel 11 600	
Přidržovače	19 191, 19 436, 42 2456	61 až 63

2.4.8 Konstrukce tažidel pro nerotační výtažky [9]

Nerotační výtažky lze táhnout jak na jednočinných lisech, tak i na dvoučinných. V prvních tazích se používají sdružená tažidla, v nichž se polotovár vystřihuje a zároveň táhne. Druhé a další tahy se provádějí podobnými tažidly, jak je uvedeno na obr. 20. Konstrukce se od tažidel pro rotační tvary výtažků liší tím, že v tažnici je upraveno zapuštění podle tvaru předcházejících výtažků. To je pro tažení velmi důležité, jelikož se tím zabrání nestejnomyšlnému vtahování některých částí výtažku do tažnice, a tím borcením tvaru výtažku.



Obr. 20 Tažidlo pro nerotační tvary výtažku [9]

2.5 Mazání při tažení [7, 9]

Během tažení vzniká velké tření mezi tažníkem, tažnicí a výtažkem a proto musí být zajištěno intenzivní mazání. Mazání při tažení má takový význam, že se zmenší tření mezi nástrojem a materiálem, zmenší se napětí v kovu a výrobek se ochrání od škrábanců, záděr a přilepování. Většinou se z provozu vyřazují nástroje z důvodu, že se na nich tvoří škrábance, záděry a poškození povrchu lisovaných součástí.

Mazivo musí mít určité vlastnosti a to takové, že musí vytvářet pevnou nevysychající vrstvu schopnou vydržet značné tlaky, dobře přilnout a vytvořit stejnoměrně rozloženou vrstvu. Mazivo se musí snadno odstraňovat z povrchu součástí. Mělo by být chemicky odolné a neškodné a nemělo by poškozovat mechanicky nebo chemicky povrch nástroje a součástí.

Velké množství maziva různého složení se používá při výrobě výtažků a dále se dá dělit na dvě skupiny, tj. na maziva bez plnidel a na maziva s plnidly. Nejlepší maziva jsou s velkým obsahem plnidla, neboť zvětšují trvanlivost lisovadel.

Pro lehčí tahy při tažení oceli se používá řepkový olej. Pro těžší tahy se vyžadují maziva s plnidly, tj. směs řepkového nebo živočišného oleje a plavené křídly. Směs se musí připravit nejméně 24 hodin před použitím. Může se použít i směs řepkového oleje s bělobou olovnatou.

Mazání je velice důležité při tažení korozivzdorné oceli, protože se tím zabraňuje přímému styku taženého kovu s tažnicí, a tím i zadírání. Pro větší redukce vyhovuje směs řepkového oleje a běloby olovnaté s přídavkem sirného květu z 5 až 10%. Sirný květ na povrchu tažnice vytvoří slabou vrstvu, která bezpečně oddělí tažený kov od kovu nástroje.

2.6 Ostatní technologické způsoby tažení [1, 2, 7, 8, 9]

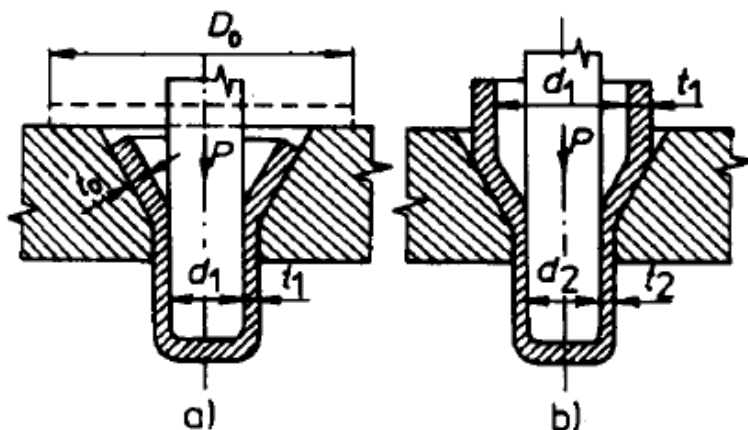
Používají se různé druhy a způsoby tažení od konvenčních metod po metody nekonvenční. U nekonvenčních metod se poskytuje alternativní řešení výroby výtažku, které se běžným způsobem těžko dají vyrobit. Při rozhodování, která metoda se použije, je třeba vycházet z komplexně technicko-ekonomického rozboru. Mezi nekonvenční technologie tváření patří tváření nepevnými nástroji, tj. zavedení nových metod, kdy funkci jedné poloviny nástroje přebírá plastické prostředí.

a) Tažení bez ztenčení stěny [7, 9]

Označováno také jako tažení prosté. Jedná se o tažení bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu. Tažení prosté může být buď s přidržovačem, kdy se zabrání případnému zvlnění okraje a jsou k tomu vhodné jednočinné a dvoučinné lis, nebo bez přidržovače, které se používá u nízkých a tvarově jednoduchých výtažků tažených z poměrně tlustého materiálu.

b) Tažení se ztenčením stěny [7, 9]

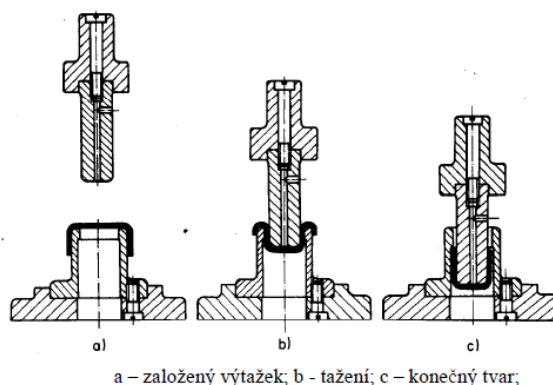
Obdoba prostého tažení. Obvykle se používá u součástí s menší tloušťkou stěny, než je tloušťka dna. Ztenčením tloušťky stěny výtažku se získá delší výtažek než při prostém tažení se stejnou tloušťkou dna i stěny. Ztenčování stěn výtažků se provádí zejména u druhých a dalších tahů, lze táhnout i v prvním tahu (obr. 21). Výtažky je nutno mazat pro zabránění jejich zadírání.



Obr. 21 Tažení se ztenčením stěny, a) první tah a b) druhý tah [9]

c) Zpětné tažení [7, 9]

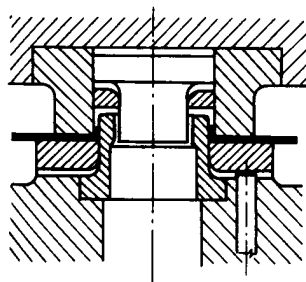
Používá se tam, kde nemusí být použito přidržovače, případně tam, kde se použije zvýšená tažná síla. Zpětné tažení se používá hlavně pro výrobu kulovitých nebo elipsovitých tvarů. Válcový výtažek se vytáhne v prvním tahu a ve druhém tahu se provede tažení v obráceném směru. Materiál není tolik namáhán, tím se méně zeslabuje a okraje výtažku se většinou nezvlíní.



Obr. 22 Postup zpětného tažení u malých a tlustostěnných výtažků [9]

d) Protahování [9]

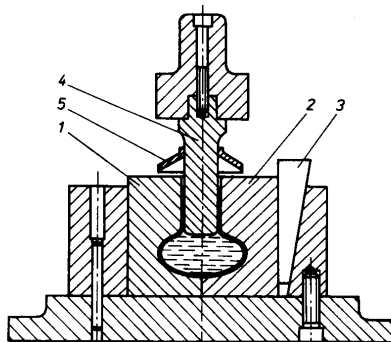
Protahováním materiálu prostříženým, běžně kruhovým otvorem se vytvoří válcová stěna. Protahování otvorů je tzv. tvoření lemů kolem otvorů dutých součástí. Zaobhlují se ostré hrany a současně dojde k jejich zpevňování. V průběhu protahování je materiál namáhán pouze tahem. U tenkých materiálů se především používá sdružený nástroj, kterým se prostřihuje a zároveň protahuje.



Obr. 23 Sdružený nástroj na děrování a protahování v jediné operaci [9]

e) Rozšiřování [9]

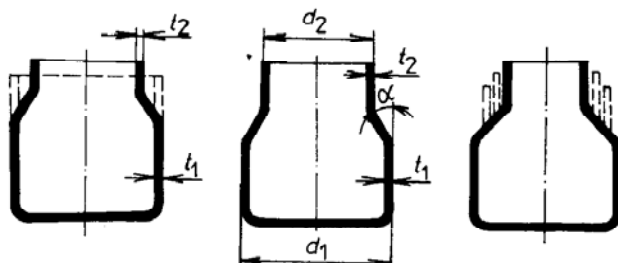
Používá se převážně k tažení různých druhů nádob, např. kotlíků, džbánů apod., při kterých je nutno zvětšit průměr některých částí výtažku zhotovených normálním tažením. Lze použít různé způsoby, např. segmentový tažník, který se roztahuje klínem. Tažidla jsou vysoce produktivní a vyžadující malé udržovací náklady. Často se rozšiřují výtažky kapalinou a tažníkem do tvaru dutiny tažnice, která bývá dělená. Na obr. 24 je znázorněno jednoduché rozšiřovací tažidlo používající/využívající kapalinu.



Obr. 24 Jednoduché rozšiřovací tažidlo [9]

f) Zužování [9]

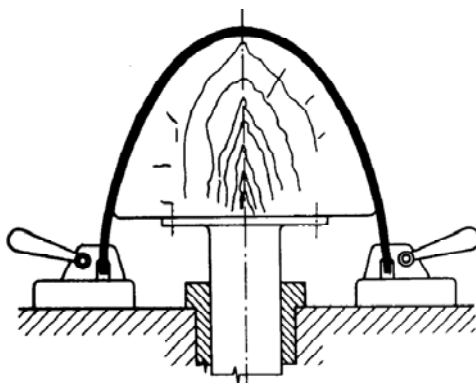
Jedná se o redukování průměru otevřeného konce výtažku, zatímco průměr u dna zůstává zachován (obr. 25). Při zužování je tažený kov vždy pouze stlačován, při kterém je kov zároveň částečně zeslabován. Zužováním se materiál značně zpevňuje, tím se snižuje jeho vhodnost k tváření, proto se musí někdy výtažky mezi jednotlivými operacemi žíhat, aby v materiálu nevznikaly trhliny. Zužování se provádí na jednočinných lisech.



Obr. 25 Zužovací tažení [9]

g) Přetahování [9]

Jedná se o přetváření plechového přístřihu do tvaru jednoduchého výtažku napínáním přes šablonu - tažník. Přístřih plechu je pevně upnut na protilehlých koncích (obr. 26). Původ přetahování je v karosářství, kde se plechové výtažky velkých rozměrů musí zhotovit jednoduchým nástrojem a při zkouškách se několikrát mění tvar. Nevýhodou je sice pomalý a neproduktivní postup, ale používá se pro malý počet kusů a je jednoduchý. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady nástrojů a potřebného zařízení.



Obr. 26 Princip přetahování [9]

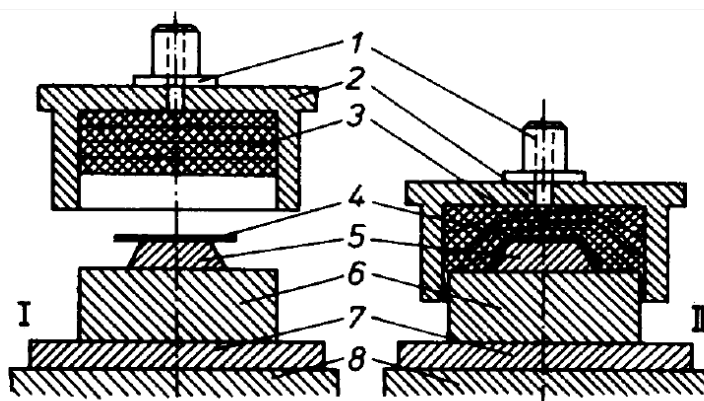
h) Tažení s ohřevem [7]

Používá se pro hořčíkové slitiny i jiné slitiny jako titan, které mají špatnou tvárnost za studena. Materiál se ohřívá mezi vyhřívanými plochami tažnice a přidržovače za teploty 300 až 350 °C.

V následujícím textu je nastíněna problematika nekonvenčních technologií tažení, kdy je využit k výrobě jedné části nástroje jiný materiál než kov:

i) Tváření pryží – metoda Guerin [1, 7, 9]

Vhodné pro různé druhy stříhání, ohýbání a jednoduché tažení. Princip metody je založen na elasticitě pryže v ocelové skříni. Tažnice, tvořena vrstvami pryže, se pohybuje proti pevnému tažníku a táhne se bez přidržovače. Životnost nástroje je vzhledem k namáhání pryže dosti nízká a metoda je vhodná pro mělké výtažky. Mezi výhody patří, že pryž nezanechává na povrchu žádné stopy, ale nevýhodou je potřeba velkých sil. Použít lze všechny typy lisů, jelikož pryž se používá o různé tvrdosti, kdy pro stříhání je tvrdost vyšší, než pro tažení.

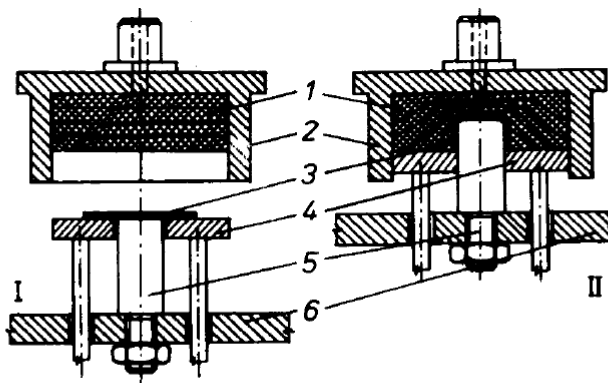


1 - upínací stopka; 2 - ocelová deska s dutinou pro pryž; 3 - pryžový polštář;
4 - tvářený materiál; 5 - tažník; 6 - spodní deska; 7 - základová deska; 8 - stůl lisu

Obr. 27 Tváření pryží systémem Guérin [9]

j) Metoda Marform [1, 7, 9]

Vylepšenou formou předchozí metody, která je vhodná i pro hluboké tažení ocelových i neželezných plechů, protože používá přidržovač. Rozdílem je větší vrstva pryže. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška samotného výlisku, aby nedocházelo ke ztrátě elasticity pryže a k rychlému opotřebování. Výhodou je, že výtažky mají stejnou tloušťku materiálu, oproti tomu nevýhodou může být vysoká pořizovací cena.

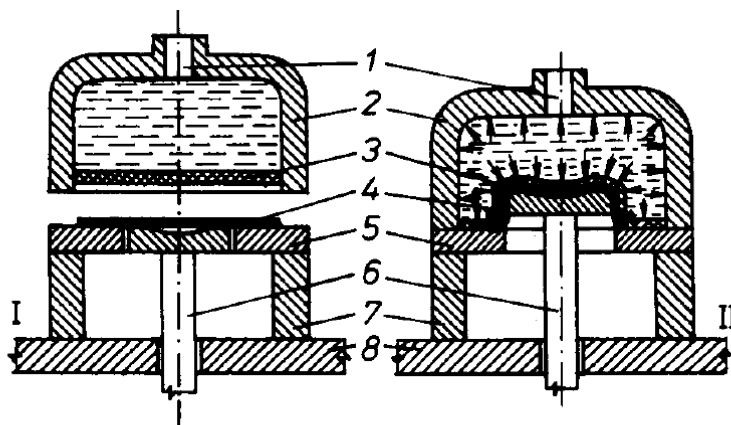


1 - pryžový polštář; 2 - ocelová deska s dutinou pro pryž; 3 - tvářený materiál; 4 - přidržovač;
5 - tažník; 6 - stůl lisu;

Obr. 28 Tažení pryží systémem Marform [9]

k) Metoda Hydroform [1, 7, 9]

Podobná metodě Marform používaná též pro hluboké tažení, ale místo pryže se používá nádoba s kapalinou, která je uzavřená tenkou deskou z gumy. Na tažený materiál se nejdříve přitlačí přidržovač, aby se nezvlnily okraje a potom se tažník vtlačuje do nádrže a materiál se tváří. Nadbytek vody se vypouští přepouštěcím ventilem. Výhodou je úspora tažných operací a hlavně úspora pořizovacích nákladů na tažidla. Tažníky lze zhotovit z náhradních materiálů, zejména dřeva a plastu.

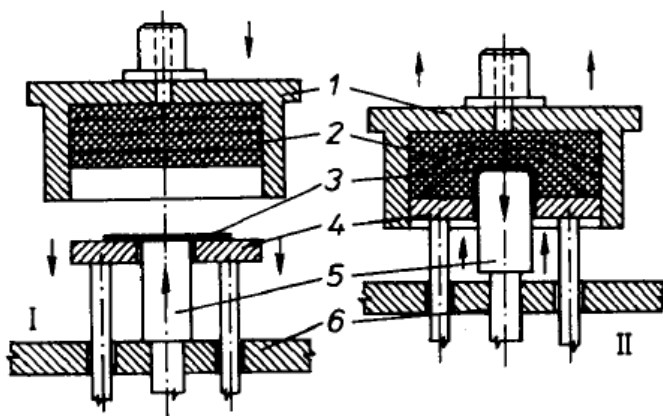


1 – přívodní otvor; 2 - vodítko; 3 - membrána; 4 – tvářený přístřih; 5 – přidržovací deska; 6 - tažník; 7 – spodní vodítko; 8 – základová deska;

Obr. 29 Schéma tažidla pro tažení systémem Hydroform [9]

l) Metoda Hidraw [9]

Kombinace systémů Marform a Hydroform. Metoda je vhodná zejména pro velké výtažky. Vyznačuje se pohyblivým přidržovačem, tažníkem a tažnicí (obr. 30). Tento systém nemá oproti jiným způsobům tváření pryží žádné výrazné výhody, i když jsou všechny součásti pohyblivé, tak tažidla jsou dražší než u jiných systémů. To je i hlavním důvodem malého rozšíření.



1 - deska; 2 - pryž; 3 – tvářený přístřih; 4 - přidržovač; 5 - tažník; 6 – základová deska;

Obr. 30 Tažidlo systému Hidraw [9]

m) Metoda Wheelon [1, 7, 9]

Podobná metoda jako Hydroform. Pracuje se zde s tlakovou kapalinou, ale s tím rozdílem, že zde obě části tažidla tvoří jeden celek a používané lisy jsou horizontální. Používaný lis otevírá a uzavírá obě poloviny tažidla. Tlak kapaliny je vyvozován hydraulickým válcem. Užívá se k tažení mělkých výtažků.

n) Hydromechanické tažení [1, 2, 7, 9]

Vhodné pro tváření s požadavkem většího zdvihu. Představuje technicky a ekonomicky zajímavou technologii hlubokého tažení s pracovní kapalinou a patří mezi nekonvenční technologie tažení plechu. Účinku tlakové kapaliny se užívá technologie v nástroji pro dosažení vyšších přetvoření. Lze zhotovovat hlubší duté nádoby z plechu, rotačního i nerotačního tvaru s použitím příruby. Výhodou je snížení počtu tažných operací, kvalitní povrch výtažku, dosažení velké přesnosti výtažků, tažení složitých výtažků, minimální ztenčení výtažku v ohybu u dna, levnější nástroj pro malé série výtažku atd. Nevýhodou je nutná větší celková tažná síla, která se vyvodí na tažníku, protože se musí překonat navíc protitlak kapaliny a kvůli tomu je potřeba použít lisu s vyšší jmenovitou silou. Další nevýhodou je nižší produktivita a lze táhnout jen s přidržovačem atd.

2.7 Lisy pro hluboké tažení [7, 8, 9]

Pro hluboké tažení plechu se nejčastěji používají mechanické a hydraulické lisy. Lisy dále lze rozdělit podle konstrukce na jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové.

a) Mechanické tažné lisy

Na rozdíl od běžných výstředníkových a klikových lisů se vyznačují většími zdvihy při stejném tlaku, silnějším motorem a větším setrvačnickem. Konstrukce je podobná jako u běžných lisů a s ohledem na zdvihy mají na místo výstředníků kliku. Charakterizuje se vysokým počtem zdvihů, které se využijí především při výrobě tvarově a technologicky nepříliš náročných výlisků. Nevýhodou je pevná závislost rychlosti beranu a síly na konstrukci hnacího mechanismu.

b) Klikové lisy

Pro hluboké tažení se používají jednočinné a dvojčinné klikové lisy. Jednočinné lisy jsou konstrukčně analogické klikovým lisům, které se vyrábějí pod typovým označením LKT a mají obvykle větší zdvih a výkonnější pohon. Dvojčinné klikové lisy mají dva berany a to přidržovací a pracovní. V okamžiku, kdy dosedne přidržovač na materiál, se pohyb přidržovacího beranu musí zastavit.

c) Hydraulické lisy

Základními parametry lisů jsou jmenovitá, zpětná a pracovní síla, zdvih pracovních pístů, rychlost sjíždění a konstruuje se jako vertikální a horizontální tj. vhodné k tažení hlubokých nádob. Je několik druhů lisů, které se dají použít pro

lisování plechu, např. hydraulický lis s přidržovačem nebo s uzavřeným rámem. Pro tažení rozměrných součástí se např. používají lisy univerzální. Další druhy lisů pro hluboké tažení a tažení členitých součástí lze i užít k tažení s hydromechanickými nástroji. Lisy mohou být konstrukčně provedeny jako naklápěcí, otevřené a dvoustojanové. K hlubokému tažení tenkých plechů se používají hydraulické dvojčinné lisy. Nevýhodou hydraulických lisů je menší počet zdvihů a tím menší výrobnost a složitější údržba. Naopak výhodou je, že rychlost beranu i síla se může nastavit podle potřeby a hlavně hydraulické lisy mají velkou flexibilitu, protože lze snadno seřídit lis při přechodu na jiný výlisek a tvářecí nástroje mohou být jednodušší. Nejčastěji se v hydraulických lisech vyrábí koupací vany, kuchyňské dřezy, karosářské výtažky apod.

3 NÁVRH VLASTNÍHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Stávající výroba součásti není v žádné odborné literatuře popsána, zpracované výrobní postupy jsou pro jednoduché rotační tvary. Při výrobě nesymetrických výtažků je snaha nalézt vhodný způsob výroby při minimálních nákladech, minimální zmetkovitosti a maximálního využití materiálu.

Zadaná součást má využití především v potravinářském průmyslu. Výrobní množství je v malé sérii 1 500 ks/rok, na součást nejsou kladeny vysoké nároky na přesnost, může se tedy zvolit taková technologie výroby, která by nebyla cenově příliš náročná.

V literární studii je uvedeno jak tažení pevným nástrojem, tak i některé nekonvenční technologie při kterých se používá nepevný nástroj. Jak již bylo zmíněno, součást bude navržena pomocí konvenčního, nebo-li pevného nástroje.



Obr. 31 Model součásti

3.1 Materiál výtažku [19, 22]

Součást bude vyrobena z oceli 17 240. Jedná se o austenitickou, nestabilizovanou, korozivzdornou ocel (příloha 5), která je vhodná pro prostředí oxidační povahy. Používá se pro prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu, tj. pro farmaceutický a potravinářský průmysl, vodárenství atd. Ocel se vyrábí válcováním za studena a je dobře tvařitelná a svařitelnost je zaručena. Používá se pro předměty vyráběné hlubokým tažením a kovotlačením. Ocel odolává plošné korozi, tj. odolává kyselině dusičné, slabým roztokům organických kyselin. Tvářením za studena se korozivzdornost mírně snižuje. Leštěním lze odolnost proti korozi zvýšit.

Vlastnosti:

Tab. 6 Ekvivalentní označení oceli [22]

EN 10088, DIN 17455, 17456, 17440	AISI (USA)	JIS (Japan)	ČSN
X5CrNi18-10 (1.4301)	304	SUS 304	17 240

Tab. 7 Chemické složení [22]

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
max. 0,07	max. 1.00	max. 2.00	max. 0.045	max. 0.030	max. 0,11	17,00 – 19,50	8,00 – 10,50

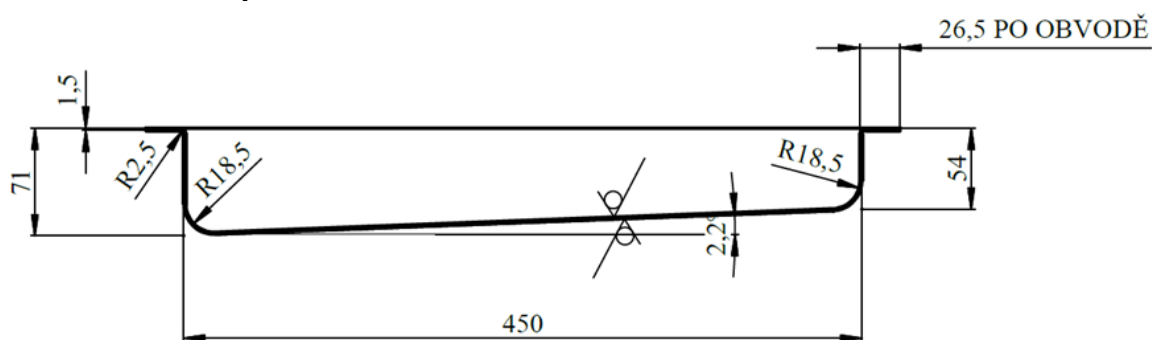
Tab. 8 Hodnoty mechanických vlastností zadaného materiálu [16, 22]

Zvolený materiál	Mechanické vlastnosti							
	$R_e, (R_{p0,2})$ [MPa]	E [MPa]	μ [–]	n [–]	R [–]	K [MPa]	A_{80} [%]	R_m [MPa]
X5CrNi18	273	$2,05 \cdot 10^5$	0,3	0,24	0,92	606	45	600

3.2 Výpočet velikosti a tvaru polotovaru

Postup určení tvaru přístřihu rotačních i obdélníkových tvarů je popsána v kap. 2.2.1 a 2.3.1. Vzhledem ke tvaru výtažku, který je s přírubou, se musí postup vhodně upravit. Tvar součásti je velmi složitý pro výpočet a jeho plocha byla stanovena programem Autodesk Inventor. Plocha výtažku je $S = 330\,313,1 \text{ mm}^2$.

➤ Určení rozměru přístřihu



Obr. 32 Výtažek

- Popis a číselné vyjádření jednotlivých úseků:

R_b – zaoblení v rozích: $R_b = 28,5 \text{ mm}$

R_d – zaoblení u dna: $R_d = 18,5 \text{ mm}$

R_f – zaoblení pod přírubou: $R_f = 2,5 \text{ mm}$

R_p – poloměr rohu příruby: $R_p = 55 \text{ mm}$

h – výška výtažku: $h_1 = 71 \text{ mm}$, $h_2 = 54 \text{ mm}$

a – šířka stěny výtažku: $a = 450 \text{ mm}$

b – délka stěny výtažku: $b = 500 \text{ mm}$

1) Určení rozvinutí bočních stěn:

$$h_s = h + R_b + 0,57R_d + 1,57R_f + (R_p - R_b - R_f)$$

$$h_{s1} = h_1 + R_b + 0,57R_d + 1,57R_f + (R_p - R_b - R_f)$$

$$h_{s1} = 71 + 28,5 + 0,57 \cdot 18,5 + 1,57 \cdot 2,5 + (55 - 18,5 - 2,5) = 147,97 \text{ mm}$$

$$h_{s2} = h_2 + R_b + 0,57R_d + 1,57R_f + (R_p - R_b - R_f)$$

$$h_{s2} = 54 + 28,5 + 0,57 \cdot 18,5 + 1,57 \cdot 2,5 + (55 - 18,5 - 2,5) = 130,97 \text{ mm}$$

2) Stanovení poloměru přístřihu v rozích:

$$R_1 = \sqrt{R_b \cdot [1,14 \cdot (R_d + R_f) + 2 \cdot h_1] + 0,14 \cdot (R_f^2 - R_b^2) + R_p^2}$$

$$R_1 = \sqrt{28,5 \cdot [1,14 \cdot (18,5 + 2,5) + 2 \cdot 71] + 0,14 \cdot (2,5^2 - 28,5^2) + 55^2} = 87,97 \text{ mm}$$

$$R_2 = \sqrt{R_b \cdot [1,14 \cdot (R_d + R_f) + 2 \cdot h_2] + 0,14 \cdot (R_f^2 - R_b^2) + R_p^2}$$

$$R_2 = \sqrt{28,5 \cdot [1,14 \cdot (18,5 + 2,5) + 2 \cdot 54] + 0,14 \cdot (R_f^2 - R_b^2) + R_p^2} = 81,68 \text{ mm}$$

3) Stanovení redukovaného poloměru přístřihu:

$$x_1 = 0,0185 \cdot \left(\frac{R_1}{R_b}\right)^2 + 0,982 = 0,0185 \cdot \left(\frac{87,97}{28,5}\right)^2 + 0,982 = 1,16 \text{ mm}$$

$$R_{01} = x_1 \cdot R_1 = 1,16 \cdot 87,97 = 102,05 \text{ mm}$$

$$x_2 = 0,0185 \cdot \left(\frac{R_2}{R_b}\right)^2 + 0,982 = 0,0185 \cdot \left(\frac{81,68}{28,5}\right)^2 + 0,982 = 1,13 \text{ mm}$$

$$R_{02} = x_2 \cdot R_2 = 1,13 \cdot 81,68 = 92,3 \text{ mm}$$

4) Zmenšení rozvinuté výšky:

$$y_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (x_1^2 - 1) = \frac{\pi}{4} \cdot (1,16^2 - 1) = 0,27 \text{ mm}$$

$$y_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (x_2^2 - 1) = \frac{\pi}{4} \cdot (1,13^2 - 1) = 0,22 \text{ mm}$$

$$h_{sb1} = y_1 \cdot \frac{R_1^2}{b} = 0,27 \cdot \frac{87,97^2}{500} = 4,18 \text{ mm}$$

$$h_{sb2} = y_2 \cdot \frac{R_2^2}{b} = 0,22 \cdot \frac{81,68^2}{500} = 2,94 \text{ mm}$$

$$h_{sa1} = y_1 \cdot \frac{R_1^2}{a} = 0,27 \cdot \frac{87,97^2}{450} = 4,64 \text{ mm}$$

$$h_{sa2} = y_2 \cdot \frac{R_2^2}{a} = 0,22 \cdot \frac{81,68^2}{450} = 3,21 \text{ mm}$$

5) Zmenšená rozvinutá výška:

$$h_b = h_{s1} - h_{sb1} = 147,97 - 4,18 = 143,79 \text{ mm}$$

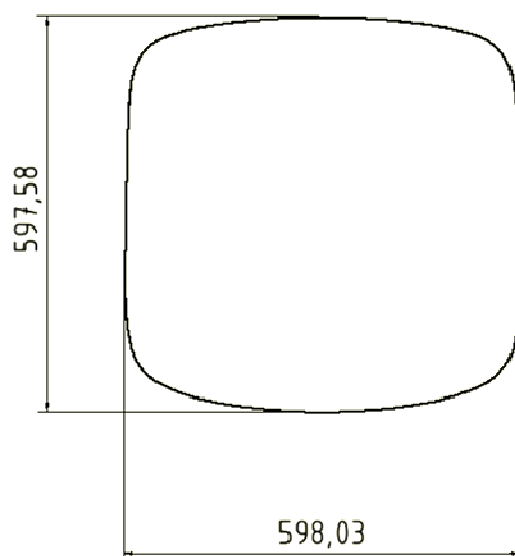
$$h_b = h_{s2} - h_{sb2} = 130,97 - 2,94 = 128,03 \text{ mm}$$

$$h_a = h_{s1} - h_{sa1} = 147,97 - 4,64 = 143,33 \text{ mm}$$

$$h_a = h_{s2} - h_{sa2} = 130,97 - 3,21 = 127,76 \text{ mm}$$

➤ Tvar přístřihu pro sériovou výrobu

Z důvodů zkrácení výrobního času potřebného na výrobu přístřihu byl navržen za pomoci programu Autodesk Inventor jednodušší tvar bez nutnosti ostřížení rohů přístřihu (obr. 33).



Obr. 33 Rozvinutý tvar

3.3 Nástřihový plán a zhotovení polotovaru

➤ Nástřihový plán

Určuje způsob uspořádání výstřížku na tabuli plechu. Pomocí nástřihového plánu se zjistí šířka pásu plechu a velikost kroku. Určuje se nejhospodárnější uspořádání výstřížků na tabuli, tak aby bylo dosaženo co nejmenšího odpadu materiálu.

- Dodaná tabule plechu: 2000 x 1000 x 1,5 mm
- Rozměry přístřihu: $l_{v1} = 598,03 \text{ mm}$, $l_{v2} = 597,58 \text{ mm}$

Uspořádání výstřížků na plechu je znázorněno na obr. 34. Jelikož je použit způsob vypálení laserem, tak určení velikosti můstku a okraje se zanedbá, tj.: $e = 1 \text{ mm}$, $f = 1 \text{ mm}$, $g = 1 \text{ mm}$.

- výpočet délky kroku:

$$k = l_{v1} + e = 598,03 + 1 = 598,03 \approx 598 \text{ mm}$$

- šířka pásu:

$$š_p = l_{v2} + 2f + g = 597,58 + 2 \cdot 1 + 1 = 599,58 \approx 600 \text{ mm}$$

- počet pásů z plechu:

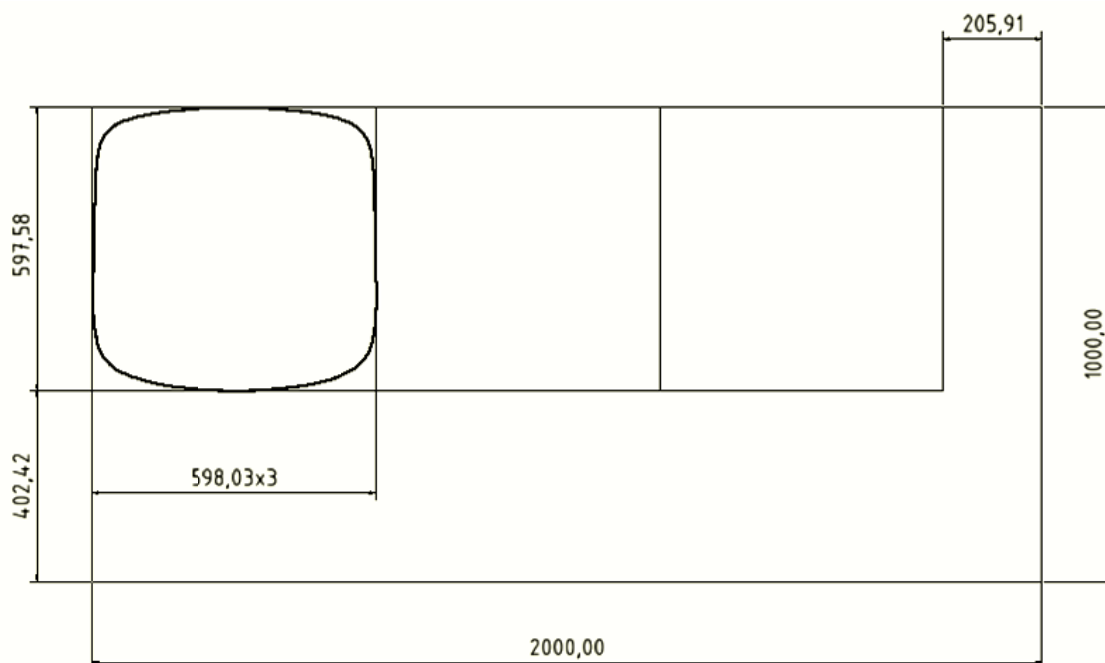
$$p_{pp} = \frac{A}{š_p} = \frac{1000}{600} = 1,667 = 1 \text{ pás}$$

- počet kusů z pásu:

$$p_{vys} = \frac{B}{k} = \frac{2000}{598} = 3,344 = 3 \text{ výstřižky}$$

- počet kusů z 1 tabule:

$$p_v = p_p \cdot p_{vys} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ výstřižky}$$



Obr. 34 Uspořádání polotovarů na tabuli plechu

- Ekonomické využití plechu:

- plocha výpalků (spočteno programem FTI Forming Suite 2017):

$$S_{vys} = 330358,95 \text{ mm}^2$$

- plocha tabule plechu:

$$S_t = 1000 \cdot 2000 = 2000000 \text{ mm}^2 = 2 \text{ m}^2$$

- plocha všech výpalků:

$$S_{cvs} = S_{vys} \cdot p_v = 330358,95 \cdot 3 = 991616,85 \text{ mm}^2 = 0,99 \text{ m}^2$$

- využití materiálu:

$$m_v = \frac{S_{cvs}}{S_t} \cdot 100 = \frac{0,99}{2} \cdot 100 = 49,5 \%$$

- celková spotřeba tabulí plechu:

$$p_t = \frac{Q}{p_v} = \frac{1500}{3} = 500 \text{ ks}$$

Vzhledem k poměrně velkému odpadu, který by vznikl při výrobě výpalků, je v budoucnu počítáno s využitím tohoto odpadu pro výrobu menších součástí.

Zhotovení polotovaru pro tažení součásti (obr. 33) bude provedeno řezáním na CNC laseru TrumpfTrulaser 5030 (obr. 39, viz kap. 3. 5).

3.4 Síly v procesu tažení a technologické výpočty tažení

➤ Síly v procesu tažení

1) Tažná síla

$$F_t = O_v \cdot R_m \cdot s = 2067,1 \cdot 600 \cdot 1,5 = 1860390 \text{ N} = 1860 \text{ kN}$$

- obvod výtažku:

$$O_v = 2 \cdot (450 - 3) + 2 \cdot (500 - 3) + 2 \cdot \pi \cdot 28,5 = 894 + 994 + 179,1 = 2067,1 \text{ mm}$$

2) Síla přidržovače

$$F_p = S_c \cdot p = 108199,95 \cdot 2,5 = 270499,9 \text{ N} = 270,5 \text{ kN}$$

- velikost funkční plochy pod přidržovačem:

$$S_c = S_p - S_{pv} = 330358,95 - 222159 = 108199,95 \text{ mm}^2$$

- volena doporučená hodnota měrného tlaku přidržovače:

$$p = 2,5 \text{ MPa}$$

3) Celková síla při tažení

$$F_c = F + F_p = 1860 + 270,5 = 2130,5 \text{ kN}$$

4) Tažná práce

$$A_t = \frac{C \cdot F_c \cdot h_1}{1000} = \frac{0,66 \cdot 2130500 \cdot 71}{1000} = 99835 \text{ J} = 99,8 \text{ kJ}$$

➤ Technologické výpočty tažení

1) Stanovení počtu tažných operací:

Podle tab.4 se určí orientačně maximální výška výtažku h_{max} dosažitelnou v 1. tahu.

$$R_b = 28,5 \rightarrow h_{max} = 4 \cdot 28,5 = 114 \text{ mm}$$

Skutečná výška výtažku: $h_1 = 71 \text{ mm}$, $h_2 = 54 \text{ mm}$

$h_{max} > h \rightarrow$ součást bude zhotovena na 1 tažnou operaci

2) Ověření součinitele tažení:

$$M_1 = \frac{R_b}{R_{01}} = \frac{28,5}{102,05} = 0,28$$

Minimální hodnota součinitele tažení pro 1. tah dle lit. [20] se může pohybovat v rozmezí $M_1 = 0,25$ až $0,4$ a pokud je $M_1 > 0,75$ lze táhnout bez přidržovače. Z výše vypočítaného součinitele tažení $M_1 = 0,28$ vyplývá, že lze výtažek táhnout na 1 tah s použitím přidržovače.

3) Určení velikosti tažné mezery – dle kap. 2.3.4:

Doporučená velikost tažné mezery dle lit. [9] pro první tahy je 1,1 násobek tloušťky plechu.

- tažná mezera v podélných stěnách:

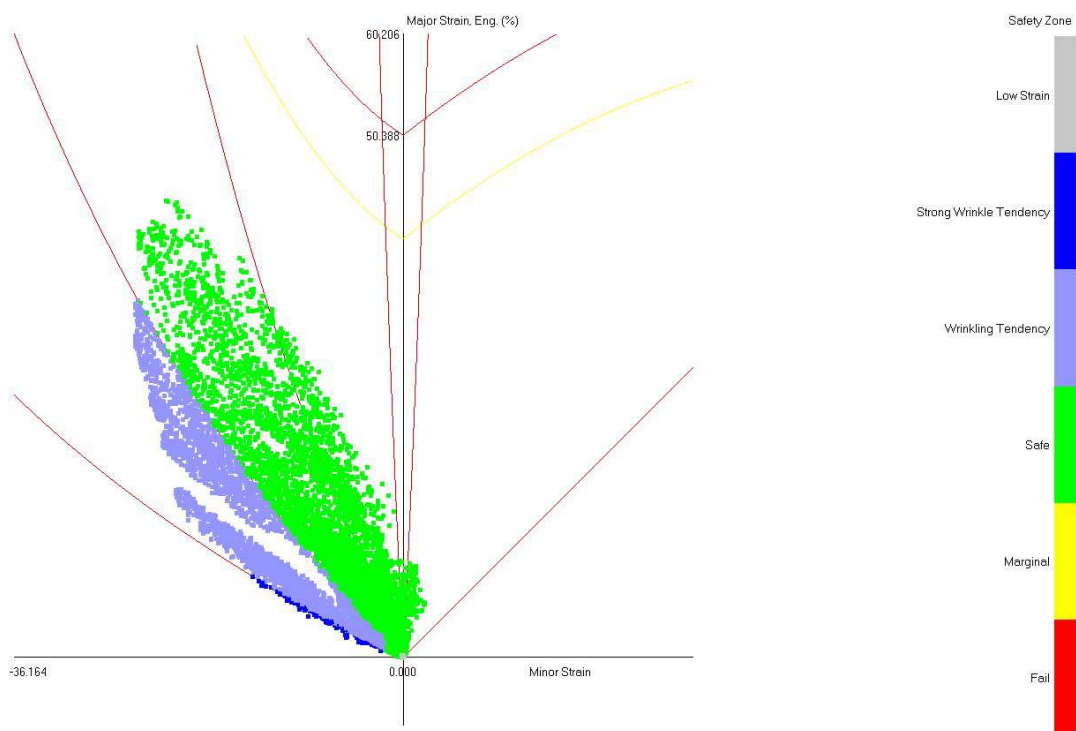
$$t_{m1} = (1,15 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 = 1,25 \cdot 1,5 = 1,875 \text{ mm}$$

- tažná mezera v rozích:

$$t_{mr1} = (1,3 \text{ až } 1,4) \cdot s_0 = 1,30 \cdot 1,5 = 1,95 \text{ mm}$$

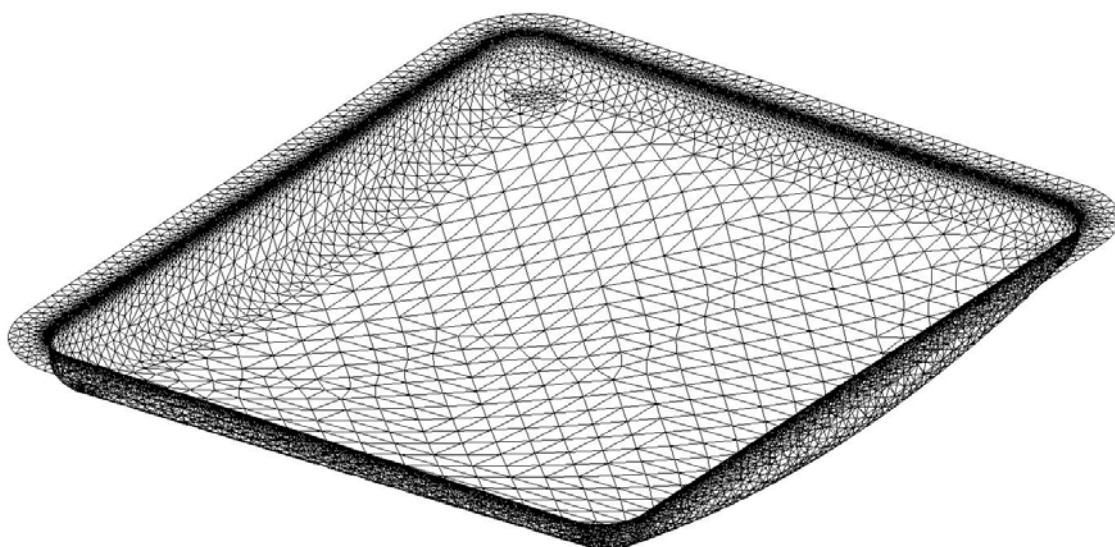
3.5 Simulace procesu tváření [17]

K ověření vyrobitelnosti výtažku na jednu tažnou operaci a ke stanovení nejkritičtějších míst na výtažku byl použit simulační program FTI FormingSuite 2017. Na obr. 35 je znázorněn Goodwin-Kellerův diagram (FLD – *Forming Limit Diagram*). Jedná se o diagram mezní tvářitelnosti (DMT) a používá se pro zjištění vzniku defektů v materiálu. V diagramu je vidět tahová oblast. Jelikož nejvyšší tahové deformace jsou v oblasti přípustných deformací, nedojde k porušení plechu při tváření. Před samotným výpočtem byla programem zadána vstupní data. Tato data jsou součástí knihovny v samotném programu (Tab. 8).



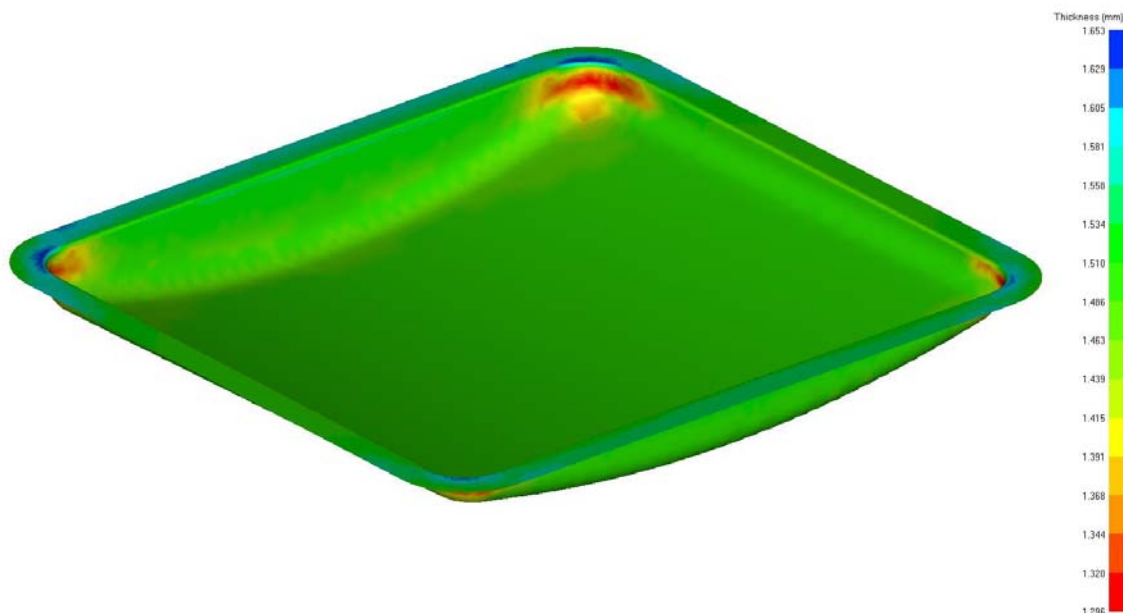
Obr. 35 Goodwin-Kellerův diagram

Na obr. 36 je názorně vidět princip výpočtu pomocí trojúhelníkové sítě tzv. „síťování“. Podle velikosti trojúhelníků se stanoví přesnost výpočtu. Větší přesnosti výpočtu lze dosáhnout s menším rozměrem trojúhelníků čímž dojde k zahuštění sítě v kritických oblastech. Pro tento výpočet je podmínkou výkonná operační paměť a kvalitní grafická karta. Maximální délka elementu je v tomto případě 15,2 mm.



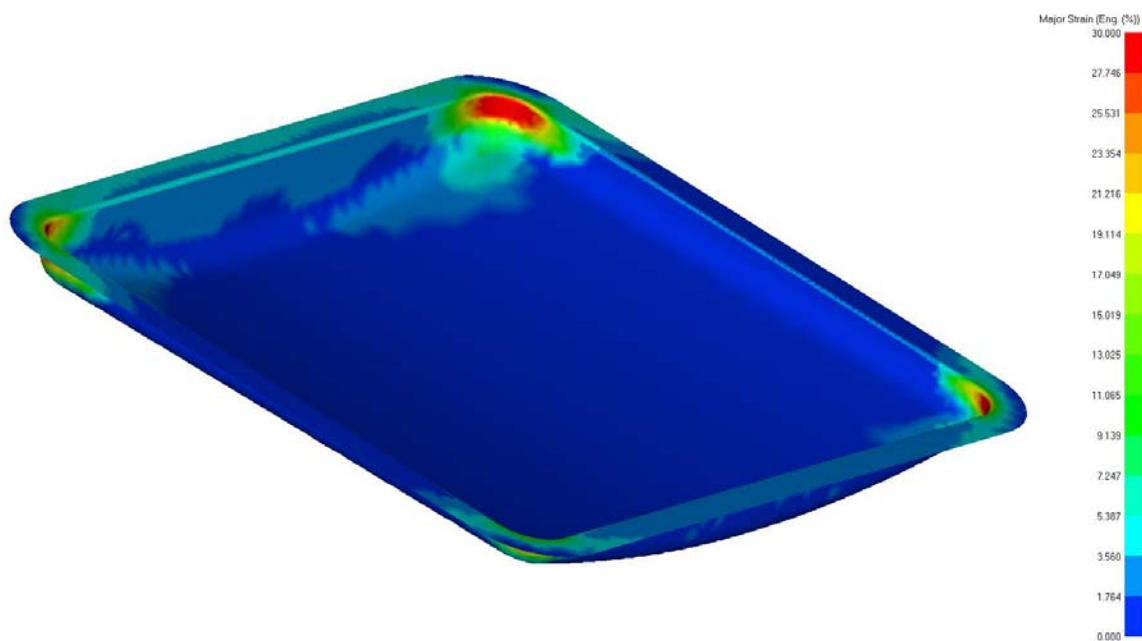
Obr. 36 Ukázka trojúhelníkové sítě na výtažku

Na obr. 37 je ukázána změna tloušťky tvářeného materiálu. Výchozí tloušťka materiálu je 1,5 mm. Sice se tloušťka změní přibližně o 13,4 %, ale nehrozí nebezpečí vzniku trhlin, neboť se může tloušťka plechu snížit až na hodnotu 1,3 mm.



Obr. 37 Grafické znázornění změny tloušťky plechu

Na obr. 38 je znázorněno hlavní napětí, které působí během tažení na materiál. Toto napětí je pod hranicí mezní deformace. I když barevná mapa červeně signalizuje v kritických místech nebezpečí vzniku defektů, nedojde ke vzniku trhlin.



Obr. 38 Grafické znázornění hlavního napětí

3.5 Technologický postup výroby [12, 23]

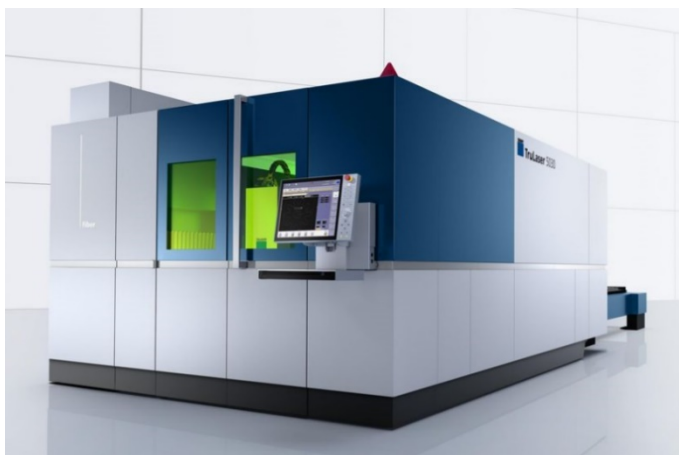
Tab. 9 Postup výroby

Číslo opera	Prováděná činnost	Použité zařízení
1.	Vstupní kontrola	
2.	Příprava polotovaru	TRUMPF 5030
3.	Mezioperační kontrola	
4.	Tažení – 1. tah	Lis CYS 320
5.	Kontrola jakosti výtažku	
6.	Ostřížení příruby	Lis CYS 320
7.	Odmaštění, odstranění ostřin	
8.	Výstupní kontrola	

Před samotným zpracováním plechu se v první operaci provedou na dodaném materiálu zkoušky tj. vstupní kontrola a to z důvodu ověření požadovaných vlastností materiálu. Provede se tahová zkouška ze vzorků dle ČSN EN ISO 6892-1 (420310) a Erichsenova zkouška hlubokotažnosti podle DIN EN ISO 1520.

Následně se z tabule plechu 2000 x 1000 mm vyřežou na CNC laseru TrumpfTrulaser 5030 (obr. 39) přístřihy. Poté se provede mezioperační kontrola.

V další operaci se provede hluboké tažení na lisu CYS 320 do požadovaného tvaru. Obsluha vloží přístřih na tažnici, ustaví jej díky dorazům a namaže mazivem. Mazivo bude použito AT Editol D 140 EPS určeno pro ohýbání a tažení legovaných a korozivzdorných ocelí. Následuje kontrola jakosti výtažku. Zkontroluje se povrch, zda nedošlo v kritických místech k protržení, nebo k cípatosti materiálu (Tab. 9). Následně bude vystřižen odtokový otvor pro kohout k vypuštění zachyceného medu. V diplomové práci zhotovení tohoto otvoru není řešeno, protože je zaměřená na technologii tažení.



Obr. 39 TrunmpfTrulaser 5030. Pracovní rozsah 1500 x 3000 mm s maximální tloušťkou plechu 20 mm [23]

3.6 Volba vhodného tvářecího stroje [12]

K tažení se nejčastěji používá mechanických a hydraulických lisů. S přihlédnutím k vybrané variantě tažení na jeden tah a výsledkům, zadanému materiálu a výtažku netypického tvaru je vhodné použít hydraulické lisy. U hydraulických lisů je počet zdvihů menší, ale síla i rychlost beranu je možné regulovat podle potřeby a lze naprogramovat i automaticky. Pro tento případ byl zvolen hydraulický lis CYS 320 od výrobce Šmeral, a.s. Brno (obr. 40). Parametry lisu jsou uvedeny v tab. 10.

Tab. 10 Parametry hydraulického lisu Cys 320 [12]

Lisovací síla	kN	3200
Zpětná síla	kN	1960
Zdvih	mm	200
Sevření	mm	560
Upínací plocha stolu	mm	2000 x 1010
Upínací plocha beranu	mm	2000 x 1010
Celkový instalovaný výkon	kW	30
Rozměry stroje v*š*h	m	5*4*2



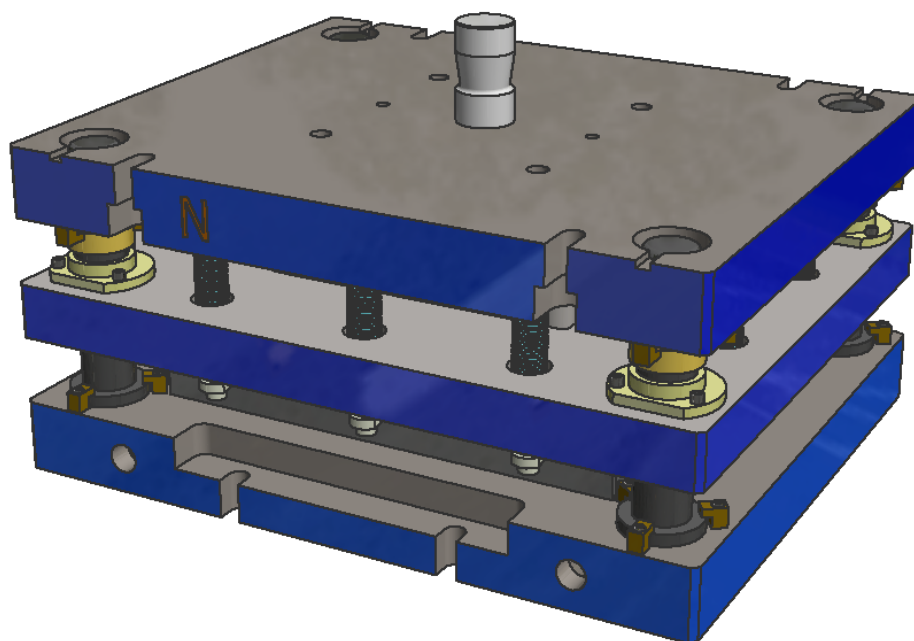
Obr. 40 Hydraulický lis CYS 320 [12]

4 NÁVRH SESTAVY TAŽNÉHO NÁSTROJE

Při návrhu nástroje (obr. 41) je nezbytné brát v úvahu několika faktorů. Přihlíží se k typu taženého materiálu a k velikosti série. Je třeba opatřit výtažek požadované kvality, ale za přijatelnou cenu. Současně je nutno brát na zřetel i technologičnost konstrukce výtažku, která je úzce spojena s návrhem konstrukce nástroje.

Po stránce technologické ovlivňuje kvalitu výlisku správné vyřešení nástroje. Je důležité především správné ustanovení polotovaru v nástroji a vhodný tvar přístřihu, který může mnohdy nepříznivě ovlivnit proces tažení, obzvláště u výtažků nerotačních tvarů.

Požadovaná životnost nástroje se zejména zajistí správnou konstrukcí a vyhovujícím materiálem nástrojů.

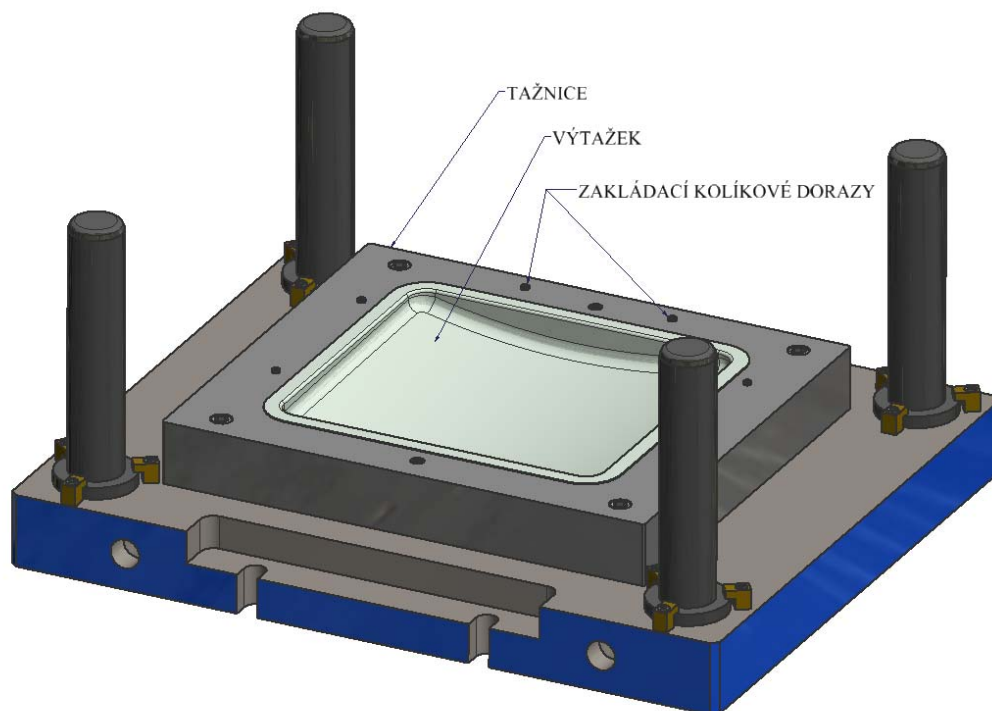


Obr. 41 Tažný nástroj

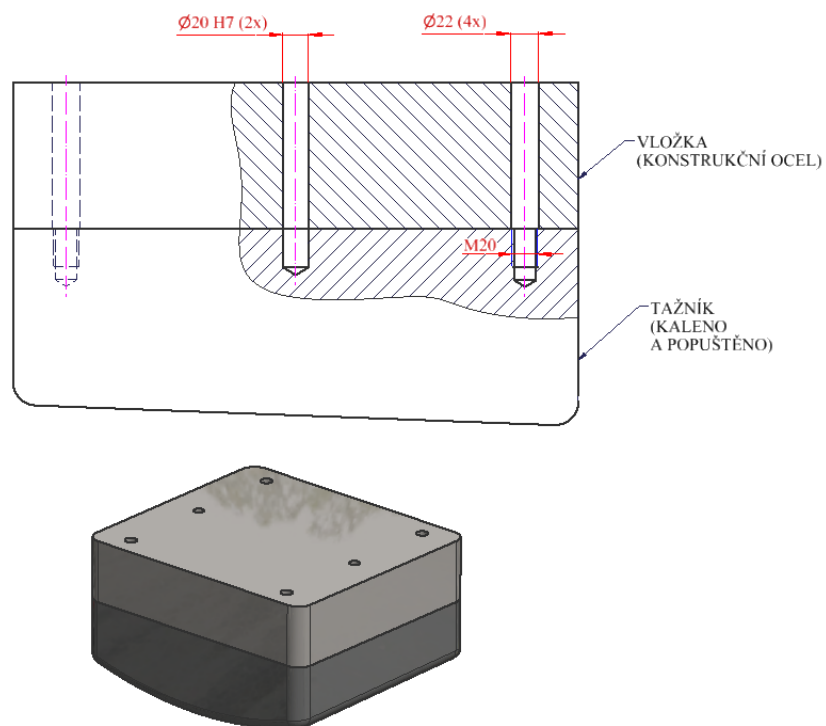
4.1 Konstrukční řešení nástroje

Nástroj byl navržen v programu Autodesk Inventor. Při konstrukci nástroje se vychází z 3D modelu výtažku a jeho přístřihu. Ty jsou použity pro následné modelování tažnice a tažníku. Dále se navrhne, s ohledem na rozměry pracovní plochy lisu, základová deska s vodícími kolíky a s modelováním navazujících dílů nástrojů se postupuje směrem ke stopce (obr. 42). V základové a horní desce je bezpodmínečně nutné uvažovat upnutí na pracovní plochu lisu a do beranu lisu. V tomto případě volím vybrání s drážkovými otvory pro šrouby, které jsou fixovány do drážek pracovní plochy a beranu (obr. 41). Na horní desce jsou u otvorů vodících sloupků vyfrézovány drážky kvůli odvzdušnění při samotném lisování.

Pro úsporu materiálu a snížení výrobních nákladů je tažník řešen ze dvou částí sešroubován a kolíkován kvůli vzájemné poloze (obr. 43).



Obr. 42 Základová deska, tažnice, vodící sloupky s finálním výtažkem.



Obr. 43 Návrh tažníku ze dvou dílů

4.2 Volba materiálu nástroje [24]

Zvolené materiály jsou voleny tak, jak jsou v praxi běžně používány. Velká pozornost je věnována na nejdražší pracovní části nástroje a to na tažník a tažnici. Pro oba tyto díly je volena ocel 19 573 (DIN 1.2379, ISO EN X155CrVMo12-1). Jde o vysoce legovanou chrom - molybden – vanadovou ocel, která se vyznačuje vysokou otěru vzdorností, odolností proti opotřebení a dobrou houževnatostí (Příloha 6). Má výbornou prokalitelnost, rozměrovou stálost při kalení a odolnost vůči popouštění. Kalitelná na vzduchu a vhodná pro kalení ve vakuu. Ocel 1.2379 (X155CrVMo12-1, 19573) se obtížně brousí, tváří za tepla a má i sníženou obrobiteľnosť v žíhaném stavu. Je vhodná k nitridaci - kvalitněji nahrazuje ocel 19 436 (1.2080). Pevnost 750 – 800 MPa. Tvrdost ve stavu žíhaném na měkko je max. 250 HB. Dosažitelná tvrdost po kalení je 63 HRC.

Základová deska, přidržovací a horní deska jsou z konstrukční oceli 11 523. Čepy pružin a stopka jsou z tažené oceli za studena 11 600 (známá také jako „taženka“).

Vodící pouzdra jsou z cínového bronzu CuSN 10 díky výborným klzným vlastnostem. Vodící sloupky bývají voleny z cementační oceli 14 220 a zakaleny. Vodící pouzdra, pojistky a vodící sloupky se v praxi většinou kupují od dodavatelů, jako jsou BLOHM nebo RAMSEIER. Jako dorazy pro ustavení přístřihu poslouží kalené kolíky s vnitřním závitem DIN 7979D.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro zhodnocení efektivnosti navrženého způsobu výroby je zapotřebí provést technicko – ekonomické zhodnocení. Je nedílnou a velmi důležitou částí technického řešení. Bez tohoto vyhodnocení není možné objektivně posoudit vhodnost realizace výroby zadaného výrobku, případně není možno ani srovnávat různé varianty řešení. Mezi ukazatele tohoto zhodnocení patří stanovení bodu zvratu, který udává dobu, kdy se výroba stává výdělečná. Výpočty se provádí stručně na základě běžně dostupných dat.

Vstupní hodnoty:

Výrobní série:	$Q_s = 1500$ ks/rok
Materiál:	ocel 17 240
Hmotnost 1ks tabule plechu [13]	$m_{pt} = 24$ kg
Cena 1ks tabule plechu [13]	$c_{pt} = 2756$ Kč
Celkový počet ks tabulí plechu pro výrobní sérii	$n_{pt} = 500$ ks

5.1 Přímé náklady

➤ Náklady na materiál

- cena potřebných tabulí plechu:

$$PN_{mat} = n_{pt} \cdot c_{pt} = 500 \cdot 2756 = 1378000 \text{ Kč}$$

kde: PN_{mat} – přímý náklad na materiál [Kč]

- zhodnocení odpadu:

V kap. 3.3 bylo napočítáno, že využití materiálu je $m_v = 49,5 \%$. Jelikož zbývá 50,5 % odpadu, je ekonomičtější zbývající materiál uschovat do skladu na výrobu menších součástí.

- materiálové náklady na jeden výtažek:

$$PN_{výt} = \frac{PN_{mat}}{Q_s} = \frac{1378000}{1500} = 918 \text{ Kč}$$

kde: $PN_{výt}$ – přímý náklad na 1 výtažek [Kč]

➤ Energetické náklady

Příkon laseru: $P_L = 16,5$ kW

Příkon lisu: $P_S = 30$ kW

- celkový příkon:

$$P_c = P_L + P_S = 16,5 + 30 = 46,5 \text{ kW}$$

kde: P_C – celkový příkon [kW]

- celkové náklady na energii:

$$N_e = N_{hod} \cdot P_C \cdot C_e = (7 + 112,5) \cdot 46,5 \cdot 3,2 = 17781,6 \text{ Kč}$$

kde: N_e – celkové náklady na energii [Kč]

C_e – cena za 1 kWh [Kč]

- energetické náklady na jednu součást:

$$N_{es} = \frac{N_e}{Q_s} = \frac{17781,6}{1500} = 11,85 \text{ Kč}$$

kde: N_{es} – energetické náklady na jednu součást [Kč]

➤ Náklady na strojní vybavení

1) Laser:

$$N_L = (l_{výřt} \cdot Q_s) \cdot C_{PL} = (1,2 \cdot 1500) \cdot 100 = 180000 \text{ Kč}$$

kde: N_L – náklady na laser [Kč]

C_{PL} – cena práce laseru = 100Kč/m [Kč]

2) Lis:

- náklady pro tažení:

$$N_T = N_{hod} \cdot N_{Tah} = 112,5 \cdot 1800 = 202500 \text{ Kč}$$

kde: N_T – náklady pro tažení [Kč]

N_{Tah} – sazba lisu = 1800 Kč/hod [Kč]

- náklady na lis pro ostřížení příruby finálního tvaru dílce:

$$N_{TF} = N_{hod} \cdot N_{Fin} = 112,5 \cdot 1800 = 202500 \text{ Kč}$$

- byl použit stejný lis jak při tažení

kde: N_{TF} – náklady pro vystřížení finálního tvaru [Kč]

N_{Fin} – sazba na finální tvar [Kč]

- celkové náklady na lisovací linku:

$$N_{TC} = N_T + N_{TF} = 202500 + 202500 = 405000 \text{ Kč}$$

kde: N_{TC} – celkové náklady na lisovací linku [Kč]

- celkově na strojní vybavení

$$N_{CS} = N_L + N_{TC} = 180000 + 405000 = 585000 \text{ Kč}$$

kde: N_{CS} – celkové náklady na strojní vybavení [Kč]

➤ Celkové přímé náklady

$$NP_{celk} = PN_{mat} + N_e + N_{CS} = 1378000 + 17614,3 + 585000 = 1980614,3 \text{ Kč}$$

kde: NP_{celk} – celkové přímé náklady [Kč]

- Přímé náklady na jeden výtažek

$$NP_{celk1} = \frac{NP_{celk}}{Q_s} = \frac{1980614,3}{1500} = 1320,41 \text{ Kč}$$

kde: NP_{celk1} – celkové přímé náklady na 1 výtažek [Kč]

5.2 Nepřímé náklady

Zařadí se sem náklady na údržbu a opravy, odpisy základních prostředků, náklady na neshodné výrobky, režijní náklady, mzdy, osvětlení atd.

➤ Mzdové náklady

1) Práce na laseru:

- počet vyrobených výtažků za hodinu:

$$n_{hod} = \frac{(60 \cdot r_l)}{l_{řvýt}} = \frac{60 \cdot 5}{1,2} = 250 \text{ ks}$$

kde: $l_{řvýt}$ – délka řezu 1 výtažku [m]

r_l – rychlost řezu laseru [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

n_{hod} – počet vyrobených výtažků za hodinu [ks]

- počet vyrobených výtažků za směnu:

$$n_s = n_{hod} \cdot t_s = 250 \cdot 6,5 = 1625 \text{ ks}$$

kde: n_s – počet vyrobených výtažků za směnu [ks]

t_s – výrobní čas práce zaměstnance [hod]

- počet potřebných směn:

$$N_s = \frac{Q_s}{n_s} = \frac{1500}{1625} = 0,92 \approx 1 \text{ směna}$$

kde: N_s – počet potřebných směn [-]

- počet potřebných hodin:

$$N_{hod} = N_s \cdot t_h = 1 \cdot 7,5 = 7,5 \text{ hodin}$$

kde: N_{hod} – počet potřebných hodin [hod]

- za směnu je pracovník schopný udělat o 125 ks více než je celkově na zakázku potřeba, tj. čas se nám zkrátí o půl hodiny $N_{hod} = 7 \text{ hodin}$.

- přímé mzdové náklady:

$$N_{mz} = N_{hod} \cdot 110 \cdot SZP = 7 \cdot 110 \cdot 1,34 = 1031,8 \text{ Kč}$$

kde: N_{mz} – přímé mzdové náklady [Kč]

SZP – sociální (25%) a zdravotní (9%) pojištění [-]

- mzdové náklady na jeden výtažek:

$$N_{mzvýt} = \frac{N_{mz}}{Q_s} = \frac{1031,8}{1500} = 0,688 \text{ Kč}$$

kde: $N_{mzvýt}$ – mzdové náklady na jeden výtažek [Kč]

2) Práce na lisu:

- počet vyrobených výtažků za hodinu:

$$n_{hod} = 60 \cdot n_z = 60 \cdot 0,25 = 15 \text{ ks}$$

kde: n_z – počet zdvihů stroje [-]

- počet vyrobených výtažků za směnu:

$$n_s = n_{hod} \cdot t_s = 15 \cdot 6,5 = 97,5 \div 97 \text{ ks}$$

- počet potřebných směn:

$$N_s = \frac{Q_s}{n_s} = \frac{1500}{97} = 14,46 \div 15 \text{ směn}$$

- počet potřebných hodin:

$$N_{hod} = N_s \cdot t_h = 15 \cdot 7,5 = 112,5 \text{ hodin}$$

- přímé mzdové náklady:

$$N_{mz} = N_{hod} \cdot 110 \cdot SZP = 112,5 \cdot 110 \cdot 1,34 = 16582,5 \text{ Kč}$$

- mzdové náklady na jeden výtažek:

$$N_{mzvýt} = \frac{N_{mz}}{Q_s} = \frac{16582,5}{1500} = 11,055 \text{ Kč}$$

➤ **Výrobní a správní režie**

$$N_{VS} = N_{mz} \cdot (V_r + S_r) = 17614,3 \cdot (3 + 1,1) = 72218,63 \text{ Kč}$$

kde: N_{VS} – celkové výrobní a správní režie [Kč]
 V_r – výrobní režie (300 %) [-]
 S_r – správní režie (110 %) [-]

5.3 Variabilní náklady

$$N_V = NP_{celk} + N_{VS} = 1980614,3 + 72218,63 = 2052832,9 \text{ Kč}$$

kde: N_V – variabilní náklady [Kč]

- variabilní náklady na jeden výtažek:

$$N_{Vj} = \frac{N_V}{Q_s} = \frac{2052832,9}{1500} = 1368,6 \text{ Kč}$$

kde: N_{Vj} – variabilní náklady na jeden výtažek [Kč]

5.4 Fixní náklady

Nezávislé na rozsahu produkce a patří mezi ně náklady za nástroje.

➤ **Cena nástrojů**

Náklady na výrobu nástroje zahrnují ceny materiálů nástroje, normalizovaných dílů, montáž atd. Jelikož je složité a velmi obtížné určit jeho přesnou cenu. V rámci zjednodušení je cena nástrojů stanovena odhadem.

$$N_F = 550000 \text{ Kč}$$

kde: N_F – fixní náklady [Kč]

5.5 Celkové náklady

Náklady jsou určeny součtem jednotlivých nákladů.

$$N_c = N_V + N_F = 2052832,9 + 550000 = 2602832,9 \text{ Kč}$$

kde: N_C – celkové náklady [Kč]

- Celkové náklady na jeden výrobek:

Cena jednoho výrobku se vypočte na základě celkových nákladů na jeden výrobek, která se navýší o ziskový koeficient.

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q_s} = \frac{2602832,9}{1500} = 1735,2 \text{ Kč}$$

kde: N_{Cj} – celkové náklady na jeden výrobek [Kč]

5.6 Cena jednoho výrobku

Cena jednoho výrobku se vypočítá na základě celkových nákladů na jeden výrobek, která se navýší o ziskový koeficient.

- celková cena jednoho výrobku navýšena o ziskový koeficient 50 %:

$$C_s = N_{Cj} \cdot 1,5 = 2602,8 \div 2603 \text{ Kč}$$

kde: C_s – celková cena [Kč]

➤ Příjmy

- celkové tržby:

$$T_C = N_C \cdot 1,5 = 2602832,9 \cdot 1,5 = 3904249,4 \div 3904249 \text{ Kč}$$

kde: T_C – celkové tržby [Kč]

- celkový zisk:

$$Z_i = T_C - N_C = 3904249,4 - 2602832,9 = 1301416,1 \div 1301416 \text{ Kč}$$

kde: Z_i – celkový zisk [Kč]

➤ Bod zvratu

$$Q_{Bz} = \frac{FN}{C_s - VN_1} = \frac{550000}{2602,8 - 1368,6} = 445,6 \div 446 \text{ ks}$$

kde: Q_{Bz} – bod zvratu [ks]

Výroba bude do 446 ks ztrátová. V bodě zvratu dojde k vyrovnání vynaložených nákladů s tržbami a při zvýšení produkce nad 446 ks dojde k tvorbě zisku. Celková výroba je tedy rentabilní, protože roční produkce je plánována na 1500 ks.

ZÁVĚRY

Nedílnou součástí vybavení každého chovatele včelstev je odvíčkovací vanička pro zachytávání medu při strhávání víček z pláství. Vanička je obdélníkového tvaru s tvarovaným dnem, vyrobena z nerezové oceli jakosti 17 240. Protože med je klasifikován jako potravina, jsou kladeny zvýšené požadavky na jakost a kvalitu materiálu.

Součástí je vyrobena hlubokým tažením, proto je literární studie diplomové práce zaměřena na tažení nerotačních součástí. Dále jsou popsány alternativy výroby nekonvenčními způsoby. Na základě technologických výpočtů byl navržen nástroj skládající se z tažníku, tažnice, přidržovače, jejichž náklady na pořízení jsou nejvyšší položkou v celkové ceně nástroje. Ostatní části nástroje jsou normalizované díly. Součástí práce je i simulace provedena v programu FEM FormingSuite 2017, která odhalila nejkritičtější místa součástí. V těchto místech dojde k zeslabení tloušťky stěny plechu, a dále simulace odhalí, kde je plech nejvíce namáhán. Tloušťka plechu v rozích se sníží o 0,2 mm (13,4 %), dle normy může dojít k zeslabení tloušťky až na 1,3 mm. Hlavní napětí v rozích součástí je pod hranicí mezní deformace, tudíž nedojde ke vzniku trhlin. Ze simulace a norem je tedy zřejmé, že vyrobený kus lze bez problému vyrobit.

Na základě vypočtené tažné síly, jejichž hodnota je 2130,5 kN byl zvolen hydraulický lis CYS 320 od výrobce Šmeral a.s., Brno.

Ke zkompletování vaničky je potřeba zhotovit otvor pro odtokový kohout, přišroubovat nožičky a doplnit o mřížku. Protože je diplomová práce zaměřená na technologii tažení, není její součástí výše uvedena problematika a zkompletování sestavy vaničky. Na základě ekonomického zhodnocení byla stanovena cena na 2603 Kč. Bod zvratu nastane při překročení výroby nad 446 ks, kdy dojde k tvorbě zisku. Celková plánovaná roční produkce je 1500 ks, takže výroba vaničky je rentabilní.

V rámci studie této problematiky bylo zjištěno, že i stát podporuje včelaře dotacemi pro zakoupení si potřebného vybavení k chovu včel. Jelikož se jedná o výrobek z vysoce kvalitní nerezové oceli, je možné tuto vaničku používat i několik let. Proto se domnívám, že výsledkem mé práce je produkt pro malovčelaře o vysoké kvalitě za přijatelnou cenu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [11]

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: STU, 2010. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 1. VUT: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. ISBN 80-214-0415-9.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
5. HOSFORD, William F. a Rober CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-88-00452-8.
6. KOCMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek. Svazek 5: Zkoušky materiálů*. 1. Praha: Dashöfer, 2001, Přer.str. ISBN 8090224725.
7. LENFELD, Petr. Technická univerzita v Liberci. In: *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. Liberec: tul, 2009 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm
8. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
9. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
10. Akademie tváření: Hluboké tažení. In: *www.mmspektrum.com* [online]. Praha: MM, 2011 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
11. *CITACE PRO: Generátor citací* [online]. Ústřední knihovna VUT v Brně: Citace.com, 2012 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
12. *Šmeral Brno a.s.* [online]. Brno: Šmeral Brno, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/hydrallycky_slicovaci_lis.html
13. *NEREZOMAT s.r.o.* [online]. Praha 9: NEREZOMAT, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.eshop-rychle.cz/www-nerezocel-cz/eshop/1-1-PLACHY/1-2-valcovane/5/387-1-5x1000x2000-mm-jakost-17240-2B>
14. ČSN 22 7301 *Lisovací nástroje: Tažení dutých válcových výtažků. Směrnice pro konstrukci*. 1. Praha: ÚNM, 1969.
15. *Včelí obchod - Váš eshop se včelařskými potřebami* [online]. Praha: JaHan, 2016 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.vceliobchod.cz/odvickovaci-talire>

-
16. ALFUN a.s. *ALFUN METAL SERVICE CENTER* [online]. Bruntál: Alfun, 2011 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: alfun.cz
 17. International Journal of Mechanical Sciences: Predictions of forming limit diagrams using a rate-sensitive crystal plasticity model. *Sciencedirect* [online]. 1993, 1995(Volume 37, 1), 1-20 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com>
 18. *VČELAŘSKÝ OBCHOD - Včelivěci.cz* [online]. Dolní Bojanovice: Medomety Kovář, 2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.vceliveci.cz/odvickovani/>
 19. *AP&T • Terms & conditions and legal relationship* [online]. Sweden: AP&T, 2009 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://aptgroup.com/>
 20. ČSN 22 7303 *Lisovací nástroje: Tažení dutých čtyřhranných výtažků. Směrnice pro konstrukci*. 1. praha: ÚNM, 1967.
 21. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD. In: *Www.vsb.cz* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/463/?ucebni-opory>
 22. *Bohdan Bolzano, s.r.o.: ocel v pohybu..* [online]. Kladno: Bolzano, 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke?searched=1.4301&advsearch=oneword&highlight=ajaxSearch_highlight+ajaxSearch_highlight1#
 23. TRUMPF. In: *Www.trumpf.com* [online]. Praha: TRUMPF GmbH + Co., 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: www.trumpf.com
 24. *Böhler* [online]. Praha 6: Böhler Uddeholm CZ, 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.bohler.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	šířka stěny výtažku	[mm]
a_{rd}	vzdálenost středů zaoblení r_d , odpovídající straně a u konečného tvaru výtažku	[mm]
A_t	Tažná práce	[J]
b	délka stěny výtažku	[mm]
b_{rd}	vzdálenost středů zaoblení r_d , odpovídající straně b u konečného tvaru výtažku	[mm]
c_1, c_2	součinitel pro výpočet tažné síly	[-]
C_e	cena za 1 kWh	[Kč]
C_{PL}	cena práce laseru	[Kč]
c_{pt}	Cena 1ks tabule plechu	[Kč]
C_s	celková cena	[Kč]
D	průměr přístřihu	[mm]
d	střední průměr výtažku	[mm]
d_1	vnitřní průměr výtažku po prvním tahu	[mm]
d_2	vnitřní průměr výtažku po druhém tahu	[mm]
d_n	vnitřní průměr výtažku po n -tým tahu	[mm]
d_r	průměr zaoblení bočních stěn výtažku	[mm]
F_c	celková tažná síla	[N]
F_p	tlak přidržovače	[N]
F_t	tažná síla	[N]
F_{tmax}	maximální tažná síla přenášená stěnami výtažku	[N]
F_{tmax}	maximální tažná síla	[N]
F_{tskut}	skutečná tažná síla	[N]
F_v	síla vyhazovače	[N]
h	celková vnitřní výška výtažku	[mm]
h_d	výška rovinné části boční stěny výtažku	[mm]
h_p	výška válcového pláště výtažku	[mm]
h_s	rozvinutá výška v rovných stěnách výtažku	[mm]
h_{sa}	zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně a	[mm]
h_{sb}	zmenšení rozvinuté výšky, odpovídající straně b	[mm]
K	stupeň tažení	[-]
k	výpočet délky kroku	[mm]
k_p	součinitel určující nutnost použití přidržovače	[-]
L	součet délek přímých částí stěn výtažku	[mm]
l_{vyt}	délka řezu 1 výtažku	[m]
M	součinitel tažení	[-]
M_1	součinitel odstupňování prvního tahu	[-]
M_2	součinitel odstupňování druhého tahu	[-]
M_3	součinitel odstupňování třetího tahu	[-]
M_c	celkový součinitel	[-]
M_n	součinitel odstupňování n -tého tahu	[-]

m_{pt}	Hmotnost 1ks tabule plechu	[kg]
m_v	využití materiálu	[%]
n	koeficient závislý na součiniteli tažení M	[-]
N_C	celkové náklady	[Kč]
N_{Ci}	celkové náklady na jeden výrobek	[Kč]
N_{CS}	celkové náklady na strojní vybavení	[Kč]
N_e	celkové náklady na energii	[Kč]
N_{es}	energetické náklady na jednu součást	[Kč]
N_F	fixní náklady	[Kč]
N_{Fin}	sazba na finální tvar	[Kč]
N_{hod}	počet potřebných hodin	[hod]
n_{hod}	počet vyrobených výtažku za hodinu	[ks]
n_l	počet otáček lisu	[m·min ⁻¹]
N_L	náklady na laser	[Kč]
N_{mz}	přímé mzdové náklady	[Kč]
$N_{mzvýt}$	mzdové náklady na jeden výtažek	[Kč]
NP_{celk}	celkové přímé náklady	[Kč]
NP_{celk1}	celkové přímé náklady na 1 výtažek	[Kč]
n_{pt}	Celkový počet ks tabulí plechu pro výrobní sérii	[ks]
N_s	počet potřebných směn	[-]
n_s	počet vyrobených výtažků za směnu	[ks]
N_T	náklady pro tažení	[Kč]
N_{Tah}	sazba lisu	[Kč]
N_{TC}	celkové náklady na lisovací linku	[Kč]
N_{TF}	náklady pro vystřížení finálního tvaru	[Kč]
N_v	variabilní náklady	[Kč]
N_{Vl}	variabilní náklady na jeden výtažek	[Kč]
N_{VS}	celkové výrobní a správní režie	[Kč]
n_z	počet zdvihů stroje	[-]
O_v	obvod výtažku	[mm]
p	pracovní pohyb tažníku	[mm]
P_C	celkový příkon	[kW]
P_L	Příkon laseru	[kW]
PN_{mat}	přímý náklad na materiál	[Kč]
$PN_{výt}$	přímý náklad na 1 výtažek	[Kč]
P_p	měrný přidržovací tlak	[MPa]
p_{pp}	počet pásů z plechu	[-]
P_S	Příkon lisu	[kW]
p_t	celková spotřeba tabulí plechu	[ks]
p_v	počet kusů z 1 tabule	[-]
p_{vys}	počet výstřížků z pásu	[-]
Q_{Bz}	bod zvratu	[ks]
Q_s	Výrobní série	[ks/rok]
R	poloměr zaoblení výtažku	[mm]
R_b	zaoblení v rozích	[mm]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

r_d	poloměr zaoblení mezi dnem a boční stěnou výtažku	[mm]
R_d	zaoblení u dna	[mm]
R_f	zaoblení pod přírubou	[mm]
r_l	rychlost řezu laseru	[m·min ⁻¹]
R_m	pevnost taženého materiálu v tahu	[MPa]
R_o	redukovaný poloměr přístřihu v místě zaoblení bočních stěn	[mm]
r_o	poloměr zaoblení mezi dnem a pláštěm výtažku / poloměr přístřihu v místě zaoblených bočních stěn	[mm]
R_p	poloměr rohu příruby	[mm]
S_c	činná plocha pod přidržovačem	[mm ²]
S_{cvs}	plocha všech výstřižků	[mm ²]
s_o	výchozí tloušťka plechu	[mm]
S_r	správné režie	[-]
S_t	plocha tabule plechu	[mm ²]
S_{vys}	plocha výstřižku	[mm ²]
SZP	sociální (25%) a zdravotní (9%) pojištění	[-]
\dot{sp}	šířka pásu	[mm]
T_C	celkové tržby	[Kč]
t_m	tažná mezera mezi tažníkem a tažnicí	[mm]
$tm_1 (tm_n)$	tažná mezera prvního (n -tého) tahu v rovných stěnách výtažku	[mm]
$tm_{r1} (tm_m)$	tažná mezera prvního (n -tého) tahu v místě zaoblených stěn výtažku	[mm]
t_s	výrobní čas práce zaměstnance	[hod]
v	tažná rychlost	[m·min ⁻¹]
V_r	výrobní režie	[-]
x	koeficient zvětšení poloměru r_o	[-]
y	koeficient zmenšení výšky h_s	[-]
z	celkový zdvih beranu lisu	[mm]
Z	materiálová konstanta	[-]
Z_i	celkový zisk	[Kč]
ε	poměrné přetvoření	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Vzorce pro výpočty průměrů přístřihu pro běžné tvary výstřižku [9]
Příloha 2	Diagram pro stanovení průměru D pro válcové výtažky [14]
Příloha 3	Diagram pro zjištění r_o a h_s [20]
Příloha 4	Diagram pro zjištění x , y [20]
Příloha 5	Materiálový list oceli [22]
Příloha 6	Charakteristika materiálu pro tažník a tažnici [24]

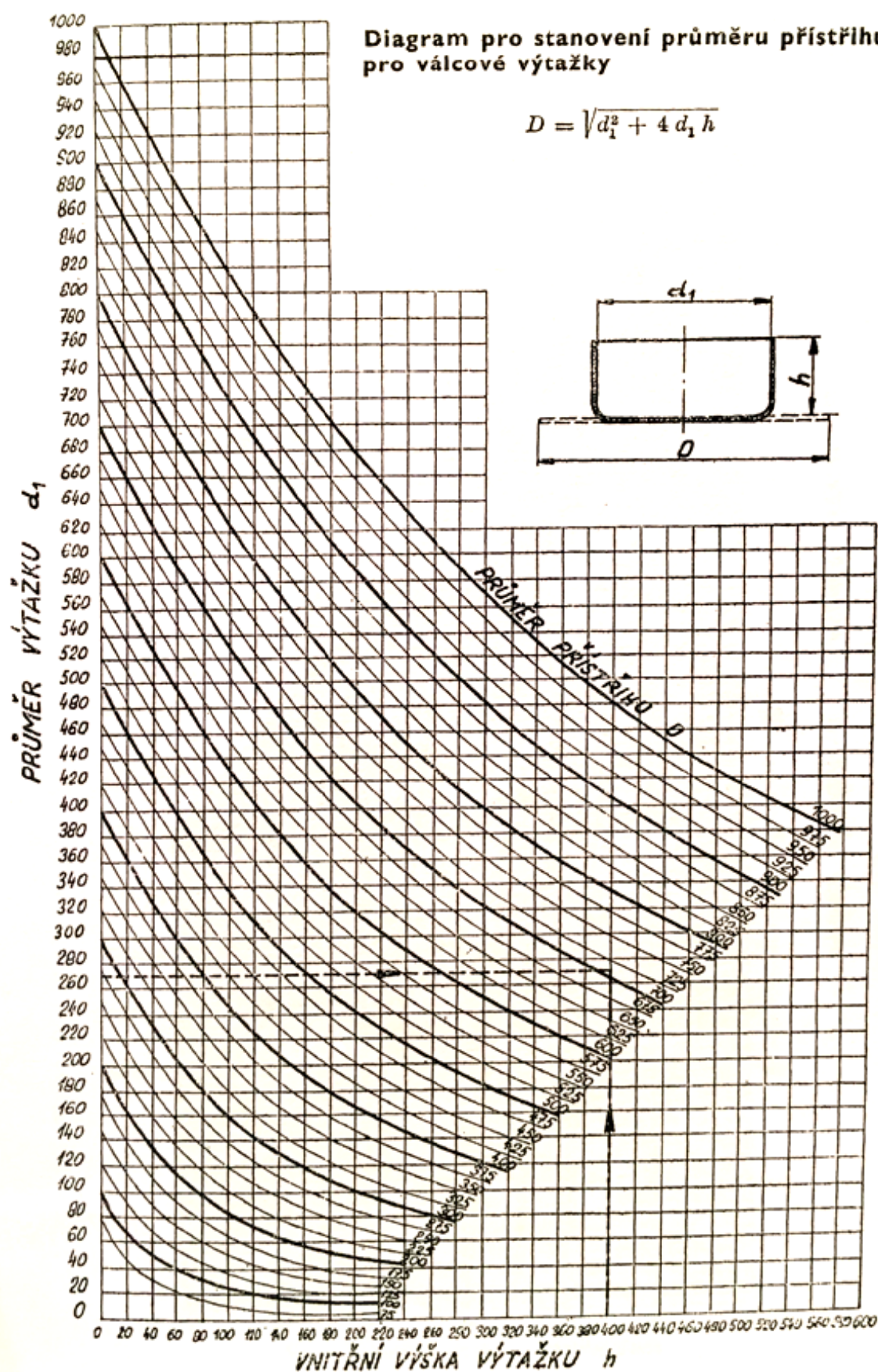


Diagram pro zjištění r_0

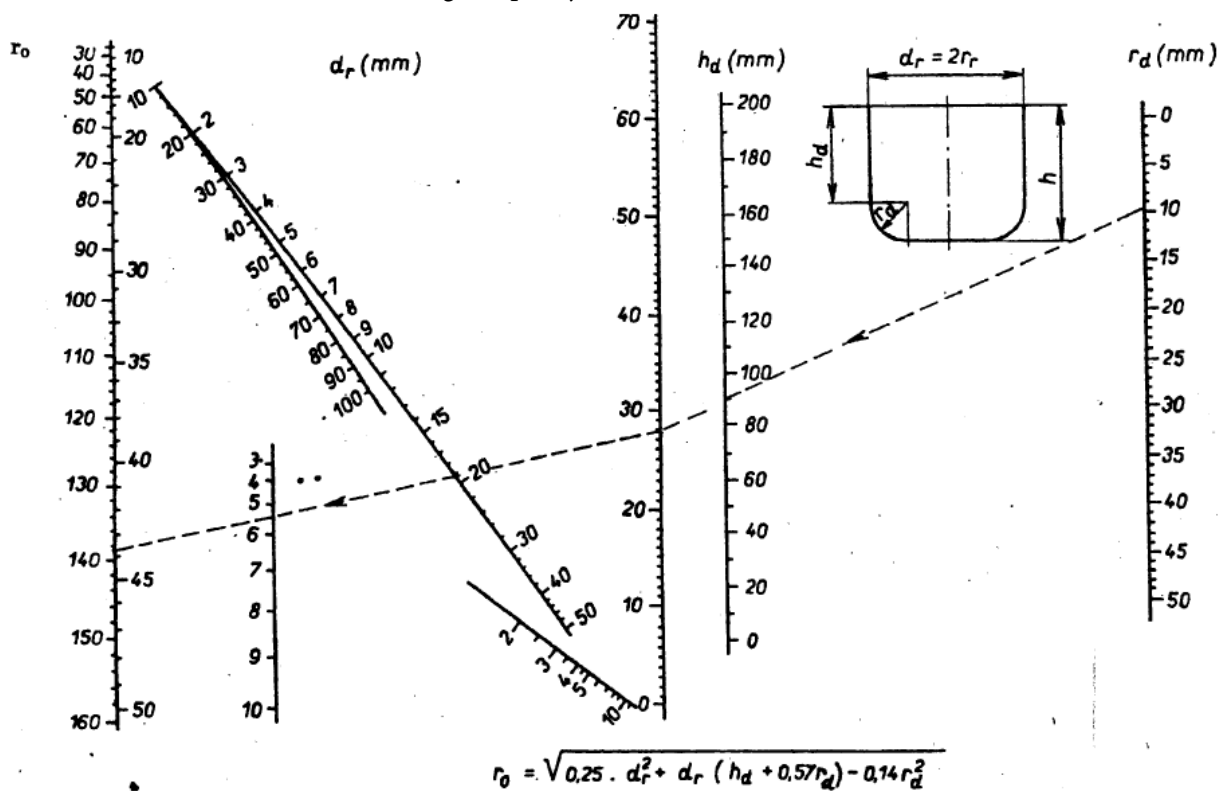


Diagram pro zjištění h_s

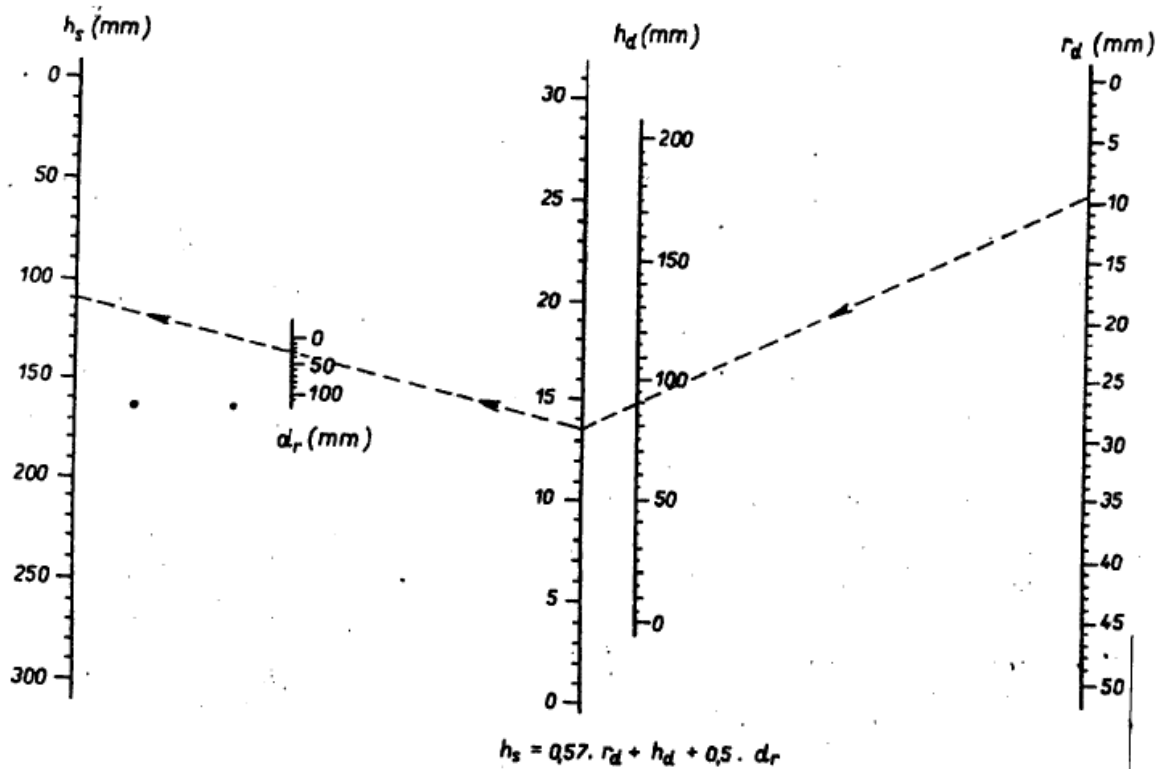
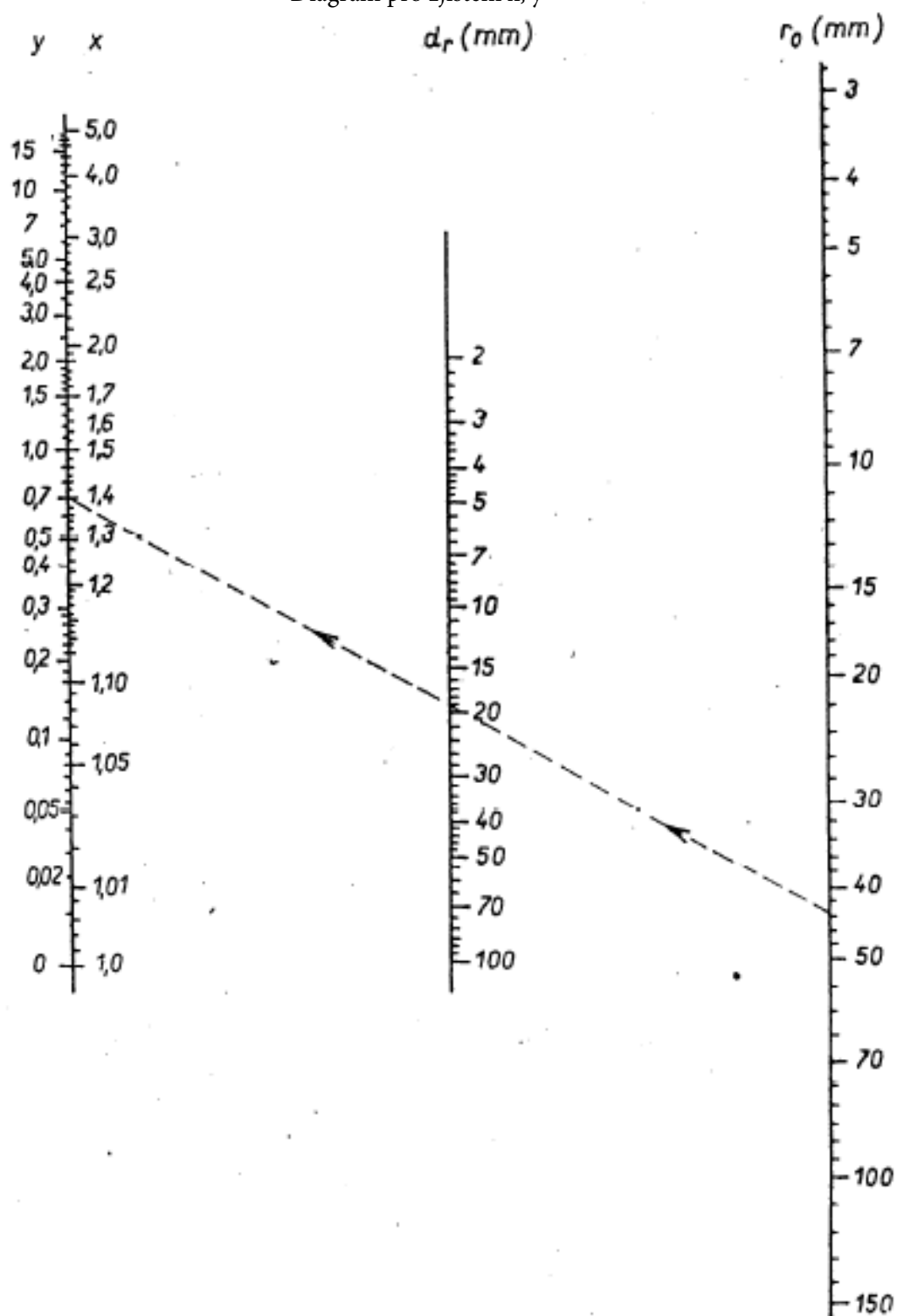


Diagram pro zjištění x, y 

Materiálový list oceli ČSN 240, EN:X5CrNi18-10

Druh oceli

Austenitická korozivzdorná ocel.

TDP

EN 10088-3 (polotovary, tyče, válcovaný drát, profily), EN 10088-2 (plechy a pásy), DIN 17455 (trubky kruhové svařované), DIN 17456 (trubky kruhové bezešvé) – pro všeobecné použití. DIN 17 440 (tažený drát).

Označení

EN 10088, DIN 17455, 17456, 17440	AISI (USA)	JIS (Japan)	ČSN
X5CrNi18-10 (1. 4301)	304	SUS 304	17 240

Korozní odolnost

Ocel velmi dobře odolává : atmosférické korozi v ne příliš znečištěném venkovním prostředí, pitné vodě, zředěné kyselině dusičné a některým organickým kyselinám. Ocel dobře odolává produktům potravinářského průmyslu, jako jsou např. ovocné šťávy, mléčné výrobky, pivo a další. Sníženou odolnost vykazuje vůči vínu, resp. vinnému moštu. V prostředí hahogenidů může dojít k napadení bodovou korozi. Ve stavu po rozpouštěcím žihání bez následného zcitlivění odolává též mezikrystalové korozi. Ke zcitlivění a vzniku náchylnosti k mezikrystalové korozi může dojít, je-li ocel vystavena po určitou dobu teplotám v rozmezí 500 až 900°C.

Chemické složení tavby v % hmot. podle EN 10088, DIN 17455, 17456 a DIN 17 440.

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
<= 0.07	<= 1.00	<= 2.00	max. 0.045	max. 0.030	<= 0.11	17,00-19,50	8,00 – 10,50

1) Pro EN 10088-2, DIN 17455 a DIN 17456 je S <= 0.015 % . Pro výrobky určené k obrábění je dovolen obsah S 0,015- – 0,030% .

Dovolené úchytky chem. složení v hotovém výrobku v % hmot.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
C<= 0.03	+ -0.005	+ <= 1.0 + - 0,03	+ <= 0.015 + 0.03	+ -	<= 10.0 + - 0.10	+ - 0.01	
C> 0.03	+ -0.01	0,05 > 1.0 + - 0.04	0,005 S > 0.015 + 0.05	0,20	> 10.0 + -0.15		

Mechanické vlastnosti pro polotovary, tyče, válcovaný drát a profily při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3

Tloušťka (d) mm	Tvrdost HB max. inf.	Rp0,2 min. MPa	Rp 1,0 min. MPa	Rm MPa	A % min. 1)		Vrubová houž. (ISO-V) KV J min.	
					L	Q	L	Q
d <= 160	215	190	225	500 až 700	45	-	100	-
160 < d <= 250	215	190	225	500 až 700	-	35	-	60

L – podélný směr zkoušení, Q – příčný směr zkoušení.

1) pro za studena tažené profily a tyče tloušťky <= 35 mm se může maximální hodnota tvrdosti zvýšit o 100 jednotek a pevnost o 200 MPa. Minimální hodnota prodloužení (A) se v tomto případě sníží na 20%. Pro válcovaný drát platí pouze hodnoty pevnosti.

Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3.

Rp0,2 v MPa při teplotách ve °C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve °C									
100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
155	140	127	118	110	104	98	95	92	90	190	170	155	145	135	129	125	122	120	120

Mechanické vlastnosti při 20°C po zpevnění za studena (např. po tažení) podle EN 10088-3.

Označení třídy pevnosti	Rp0,2 min. MPa	Rm MPa	Prodloužení A % min.
C700 (do průměru 25 mm)	350	700 až 850	20
C800 (do průměru 35 mm)	500	800 až 1000	12

Mechanické vlastnosti pro plechy a pásy při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-2.

Výrobek 1)	Tloušťka d min. mm	Rp0,2 min. MPa Q 2)	Rp1,0 min. MPa Q 2)	Rm MPa	A80mm % tl. < 3 mm min. Q 3)	A % tl. >= 3 mm min. Q 4)	Vrubová houževnatost (ISO-V) KV J min. tl. > 10 mm	
						L	Q	
C	6	230	260	540 až 750	45 5)	45 5)	-	-
H	12	210	250	520 až 720	45 5)	45 5)	90	60
P	75	210	250	500 až 700	45	45	90	60

1) C – za studena válcovaný pás, H – za tepla válcovaný pás, P – za tepla válcovaný plech.

2) Q – příčný směr zkoušení. Jsou-li u pásu šířky < 300 mm odebrány zkušební vzorky v podélném směru, snižují se hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 o 15 MPa a prodloužení pro konstantní měřenou délku o 5% a pro proporcionální měřenou délku o 2 %. Pro výrobky kontinuálně válcované lze v objednávce dohodnout min. hodnotu Rp0,2 o 20 MPa vyšší a pro Rp1,0 o 10 MPa vyšší.

3) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky měřené délky 80 mm a šířky 20 mm. Vzorky o měřené délce 50 mm a šířce 12,5 mm mohou být též použity.

4) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky o měřené délce 5,65ÖS₀. 5) Pro výrobky rovnané napínáním je hodnota o 5% nižší.

Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stav po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-2.

Rp0,2 v MPa při teplotách ve °C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve °C									
100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120

Mechanické vlastnosti při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání pro svařované trubky podle DIN 17 455 a bezešvé trubky podle DIN 17 456.

Uvedené hodnoty platí pro tloušťku stěny do 50 mm.

Rp 0,2 min. MPa	Rp 1,0 min. MPa	Pevnost v tahu MPa 1)	Prodloužení A (L ₀ = 5,65ÖS ₀) % min 1)	
			V podélném směru	V příčném směru
195	230	500 až 720	40	35

1) Pokud nejsou výrobky podle DIN 17455 dodávány ve stavu po rozpouštěcím žihání, může být horní hranice pevnosti překročena o 70 MPa a prodloužení o 5 jednotek podkročeno. Poznámka neplatí pro výrobky podle DIN 17456



Chemické složení	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Obsah prvků v %	1,55	0,25	0,35	11,80	0,80	0,95

Charakteristika

Ledeburitická chromová ocel s vysokou odolností proti otěru, dobrou houževnatostí a rozměrovou stálostí. Kalitelná na vzduchu, vhodná k nitridaci v lázni, plazmou a v plynu. Velmi vhodná pro kalení ve vakuu.

Použití

Vysokovýkonné střížné nástroje (matrice, razníky) na stříhání silnějších a tvrdších materiálů, od kterých se vyžaduje vysoká odolnost proti otěru a zároveň dobrá houževnatost, nože nůžek na stříhání tenkých vrstev, nářadí pro lisovací techniku, válcování závitů, pracovní válce pro válcování za studena na víceliniových válcovacích tratích, průtlačné, tažné a hlubokotažné nástroje, lisovací nástroje pro keramický a farmaceutický průmysl.

Nástroje pro opracování dřeva, měřidla a malé formy na plasty od kterých se vyžaduje vysoká odolnost proti otěru.

Dodávaný sortiment

Oceli Böhler K110 se dodávají v širokém sortimentu v různých vyhotoveních ve formě tyčí, desek, plechů, předbroušených a broušených polotovarů.

Tepelné zpracování

Teplota žíhání na měkko	800–850 °C
Tvrdost po žíhání na měkko	max. 250 HB
Teplota žíhání na odstranění vnitřních pnutí	650 °C
Podrobné informace o tepelném zpracování v materiálovém listě.	

Kalení

Stupňovitý ohřev na austenitizační teplotu 1020 až 1040 °C, výdrž na austenitizační teplotě po prohřátí v celém průřezu 15 – 30 minut.

Pro získání vyšší houževnatosti, nebo když má být nástroj nitridovaný, případně se bude realizovat povlakování, doporučuje se tepelné zpracování na sekundární tvrdost, potom je austenitizační teplota 1060 – 1080 °C s následným popouštěním na sekundární tvrdost.

Ochlazovací prostředí: tvarově složité nástroje vzduchu, tvarově jednodušší nástroje tlak vzduchu, olej, solná lázeň (220 – 250 °C, nebo 500 – 550 °C).

Dosažitelná tvrdost po kalení 63 – 65 HRC.

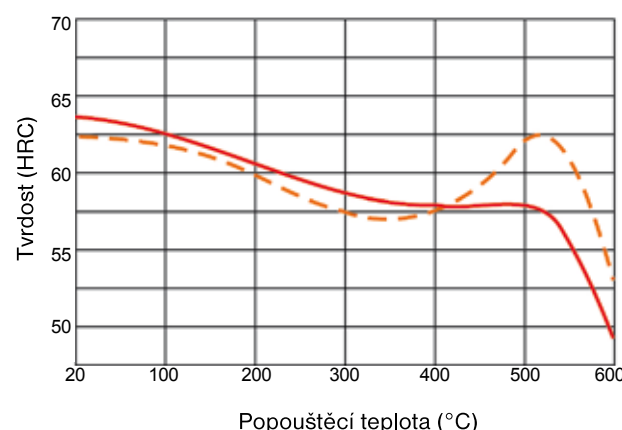
Popouštění

Realizovat hned po kalení, pomalý ohřev na popouštěcí teplotu, výdrž na teplotě 1 hodinu na každých 20 mm tloušťky, nejméně však 2 hodiny, ochlazování na vzduchu. Popouštěcí teplotu volit podle požadované tvrdosti z popouštěcího diagramu, v některých případech je účelné popouštět při nižších teplotách s prodlouženou výdrží. Při tepelném zpracování na sekundární tvrdost (kalení z vyšších teplot), realizovat vícenásobné popouštění, minimálně 2x.

Teplota prvního popouštění 520 °C, poslední popouštění 30 – 50 °C pod teplotou popouštění na pracovní tvrdost.

Popouštěcí diagram BÖHLER K110

kalící teplota 1030 °C —————
kalící teplota 1070 °C - - - - -
Průřez zkušebního vzorku: čtyřhran 20 mm



**Standardní rozměrový sortiment**

Kruhové tyče, žíhané, IBO ECOMAX, (mm)

14,5	15,5	16,5	18,5	20,5	22,5	25,5	28,5	30,5	32,8	35,8	38,8	40,8	45,8	50,8	55,8	60,8	66,0
71,0	76,0	81,0	86,0	91,0	96,0	101,5	106,5	111,5	116,5	121,5	126,5	131,5	136,5	141,5	151,5	156,5	162,0
172,0	182,0	192,0	202,0	207,0	212,0	222,0	232,0	242,0	252,5	262,5	272,5	282,5	292,5	302,5	312,5	323,0	333,0
343,0	358,0	363,0	373,0	383,0	403,0	413,0	423,0	453,0	483,0	503,0							



Ploché tyče, tryskané

Šířka (mm)	Tloušťka (mm)											
	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
20,0	X	X										
30,0	X	X	X	X								
40,0	X	X	X	X	X							
50,0		X	X	X	X	X	X					
60,0	X	X	X	X	X	X	X	X				
70,0		X	X	X	X	X	X	X	X			
80,0		X	X	X	X	X	X	X	X			
90,0			X	X	X	X	X	X	X			
100,0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
120,0		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
130,0			X	X	X	X	X	X	X			
150,0		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
160,0			X			X	X	X	X	X	X	
180,0			X	X	X	X	X	X	X			
200,0			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
220,0					X		X	X				
250,0			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
300,0				X	X	X	X	X	X	X	X	X
350,0							X	X	X			
400,0							X	X	X		X	

Čtyřhranné tyče,
žíhané, tryskané (mm)

20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
120,0	130,0	150,0	160,0	180,0	200,0

Plechý žíhané,
šířka 1000 (mm)

Tloušťka (mm)	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	8,0
	8,5	10,0	15,0	20,0	25,0	30,9
	35,0	40,0	50,0	55,0		

Desky žíhané – možnost
dělení desek

	130	150	200	250	300
360	X				
400		X	X	X	
500		X		X	
600		X			X

Kruhové tyče, žíhané,
kalibované (mm)

10,0	12,0
------	------

